



# PROSIDING

# SKN 2017

Seminar Keselamatan Nuklir

TEMA:  
Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran  
Berbasis Teknologi Informasi dan  
Komunikasi Publik

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR  
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120  
Telp. (+62-21) 63858269/70, Fax. (+62-21) 63858275



PROSIDING

 **SKN 2017**  
Seminar Keselamatan Nuklir

TEMA:  
Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran  
Berbasis Teknologi Informasi dan  
Komunikasi Publik

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR  
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120  
Telp. (+62-21) 63858269/70, Fax. (+62-21) 63858275

**KATA PENGANTAR**

**Dr. Syahrir, M.Sc**  
**Ketua Panitia**

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat dan kesehatan yang diberikan, sehingga prosiding Seminar Keselamatan Nuklir ini dapat terselesaikan dengan baik. Prosiding ini berisi kumpulan makalah-makalah dari para penyaji yang telah dipresentasikan dan didiskusikan pada acara Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN Tahun 2017 yang bertemakan “**Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi Publik**”.

Seminar ini terselenggara atas kerjasama Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan program studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Gadjah Mada, yang diadakan pada tanggal 1 Agustus 2017 bertempat di Auditorium FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Seminar dihadiri oleh pemangku kepentingan dari seluruh daerah di Indonesia baik dari berbagai universitas maupun instansi pemerintah terkait. Pada seminar ini hadir juga pembicara utama yaitu Susanna Loof sebagai salah satu pakar komunikasi publik dari IAEA.

Makalah yang disajikan dalam prosiding sebanyak 68 dari 99 makalah yang masuk. Makalah dibagi menjadi 3 kelompok yaitu Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif dengan 12 makalah oral dan 15 makalah poster, Instalasi dan Bahan Nuklir dengan 9 makalah oral dan 21 makalah poster, dan Umum dengan 7 makalah oral dan 4 makalah poster.

Kami menyadari bahwa prosiding ini tentu saja tidak luput dari kekurangan, untuk itu segala saran dan kritik kami harapkan demi perbaikan prosiding pada terbitan tahun-tahun yang akan datang. Akhirnya kami berharap prosiding ini semoga dapat menjadi sumber informasi bermanfaat bagi yang memerlukan.

Jakarta, 24 November 2017

## SAMBUTAN



**Prof. Dr. Ir. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU**  
**Kepala BAPETEN**

**Selamat pagi, Assalamu'alaikum Wr. Wb.**

Segala puji kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah menganugerahi kita semua dengan kesehatan dan kesempatan sehingga pada pagi yang berbahagia ini kita dapat menghadiri Seminar Keselamatan Nuklir 2017 BAPETEN, yaitu seminar yang diselenggarakan untuk mengakomodasi segenap perkembangan ilmiah guna meningkatkan kualitas pengawasan ketenaganukliran di Indonesia.

Tenaga nuklir dapat memberikan manfaat kepada masyarakat, tetapi pada sisi yang lain mempunyai risiko bila tidak dilakukan pengawasan dengan baik, untuk mengurangi terjadinya potensi resiko tersebut maka diperlukan pengawasan yang ketat dengan berdasar pada aspek *safety*, *security*, dan *safeguards* (3S). Pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi tingkat keselamatan dan keamanan serta seifgard sesuai dengan ketentuan dan persyaratan yang berlaku.

Sesuai dengan Seminar kali ini yang bertema “**Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi Publik**”. Perkembangan teknologi informasi dan semakin perlu dibukanya porsi keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan sangat diperlukan untuk mencapai pengawasan ketenaganukliran yang efektif. Kedua hal ini akan menjadi pokok bahasan oleh para pembicara kunci kita.

Berdasarkan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, salah satu tujuan pengawasan adalah untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mensyaratkan keterlibatan masyarakat dalam izin lingkungan untuk suatu kegiatan dengan risiko tinggi. Selain itu efektivitas pengawasan meningkat seiring besarnya partisipasi publik di dalamnya. Untuk mewujudkan hal tersebut, perlu adanya komunikasi antara BAPETEN, stakeholder dan masyarakat. Melalui komunikasi diharapkan akan terbangun kesepahaman dalam mencapai tujuan pengawasan. Komunikasi Publik ini dimaksudkan agar masyarakat luas mengerti dan memahami dengan baik akan tugas dan fungsi lembaga dalam mengemban tugas, sesuai UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, sekaligus dinamisasi regulasi seiring perkembangan kemajuan zaman dan semakin pesatnya pertumbuhan pemanfaatan tenaga nuklir di tanah air.

Melihat perkembangan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin pesat saat ini, BAPETEN tidak lagi hanya menitikberatkan pada 3 pilar pengawasan yaitu peraturan, perizinan dan inspeksi, tetapi juga melibatkan teknologi informasi dan komunikasi publik. Masalah keamanan nuklir juga mengemuka sebagai akibat dampak perkembangan digital salah satunya berupa *cyber attacks* maupun pemanfaatannya dengan teknologi lainnya seperti senjata pemusnah. Seiring dengan itu, pemanfaatan teknologi informasi pada pengawasan ketenaganukliran juga berkembang dengan pesat dan telah diaplikasikan di BAPETEN. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada pembicaraan saya nanti.

Untuk meningkatkan penguatan pengawasan ketenaganukliran untuk kesejahteraan dan kemandirian bangsa, BAPETEN akan terus menggalang kerjasama dengan berbagai pihak yang menjadi stakeholder BAPETEN, seperti BATAN, KEMENKES, organisasi profesi, organisasi masyarakat, perguruan tinggi, dan sebagainya.

Demikian hal ini kami sampaikan, Selanjutnya dengan mengucapkan Bismillahirrahmaanirrahiim, Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN 2017 ini resmi dibuka.

Terima kasih.

**Wassalamu'alaikum Wr. Wb.**

**SUSUNAN PANITIA**  
**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**

1. PENGARAH	:	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU	BAPETEN
		Dr. Khoiril Huda, M.Eng	BAPETEN
		Drs. Hendriyanto Hadi Tjahyono, M.Si	BAPETEN
		Prof. Dr. Triyono, S.U.	UGM
2. PENANGGUNGJAWAB	:	Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad	BAPETEN
		Drs. Edi Winarko, M.Sc., P.hD	UGM
3. PENYELENGGARA			
Ketua	:	Dr. Syahrir, M.Sc	BAPETEN
Wakil Ketua	:	1. Dra. Leily Savitri	BAPETEN
		2. Nurul Hidayat, M.Kom.	UGM
Sekretariat	:	1. Iswandarini	BAPETEN
		2. Intanung Syafitri, S.Si	BAPETEN
		3. Diella Ayudhya Susanti, MIL	BAPETEN
		4. Nurhandiansyah, ST	BAPETEN
		5. Hani Febri Mustika, S.Kom.	UGM
Sie Persidangan			
Koordinator	:	Rini Suryanti, M.Si	BAPETEN
Anggota		1. Zalfy Hendry Eka Putra, MT	BAPETEN
		2. Endang Kunarsih, M.Si	BAPETEN
		3. Indah Annisa, M.Si	BAPETEN
		4. Lia Farhatuaini, S.Kom	UGM
		5. Putu Sugiartawan, M.Cs.	UGM
		6. Muh Amin Nurrohmat, S.Kom.	UGM
Sie Perlengkapan			
Koordinator	:	Sugeng Raharjo	UGM
Anggota		1. Ardi Susanto, S.Kom	UGM
		2. Noviazida, SE	BAPETEN
		3. Samsuri	BAPETEN
		4. Ardhiantoro S. Purnomo, SST	BAPETEN
		5. Kuspriyanto, SE	BAPETEN
Sie Dokumentasi Ilmiah dan Prosiding			
Koordinator	:	Dias Aziz Pramudita, S.Pd.	UGM
Anggota		1. Rusmanto, M.Si	BAPETEN
		2. Wawan Susanto, SST	BAPETEN

	3.	Eny Erawati, ST	BAPETEN
	4.	Moekhamad Alfiyan, ST	BAPETEN
	5.	Sudarto, M.Eng	BAPETEN
	6.	Wardi Putra Daeng Beta, MKKK	BAPETEN
	7.	Fuad Fauzi, S.Kom.	UGM
	8.	Prih Haryanta, S.E., M.T.	UGM
4.	PENILAI MAKALAH		
	Koordinator merangkap	:	Ishak, M.Si
	Anggota Penilai		
	Anggota Penilai	1.	Dr. Ing. Sihana
		2.	Dr. rer.nat. M Farchani Rosyid
		3.	Dr. Agfianto Eko Putra, M.Si
		4.	Supriyanto Ardjo Pawiro, M.Si., Ph.D.
		5.	Dra. Elisabeth Supriyatni MAppSc
		6.	Dra. Azhar, M.Sc
		7.	Ir. Budi Rochman M.Sc.
		8.	Dr. Azizul Khakim
		9.	Drs. Reno Alamsyah, M.Sc

**JADWAL ACARA**  
**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**

WAKTU	ACARA	KETERANGAN	
08.00 – 08.30	Registrasi	Panitia	
08.30 – 09.00	Menyanyikan lagu Indonesia Raya, Doa dan Safety Induction Aula UGM	UGM	
	Tarian Pembuka	UGM	
09.00 – 09.40	Sambutan dan Pembukaan 1. Laporan Ketua Panitia 2. Sambutan Rektor UGM 3. Sambutan Kepala BAPETEN 4. Pembukaan Staf Ahli Menristekdikti Bidang Infrastruktur (dengan memukul gong) didampingi Kepala BAPETEN, Rektor UGM dan Ketua Panitia 5. Foto Sesi	1. Dr. Syahrir, M.Sc 2. Prof Ir Panut Mulyono, M.Eng, D.Eng 3. Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU 4. Ir. Hari Purwanto, M.Sc. DIC	
09.40 – 10.00	Pembicara Kunci	Ir. Hari Purwanto, M.Sc. DIC Staf Ahli Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Bidang Infrastruktur	
10.00 – 10.15	<b>REHAT KOPI</b> <b>Presentasi POSTER sesi 1 (tayangkan slide abstrak)</b>		
10.15 – 10.45	Pembicara 1: Public Communication	Ms. Susanna Loof , IAEA  Moderator Pembicara 1: Dra. Taruniyati Handayani, M.Sc Sekre Sidang: Abdul Qohhar T.E.P, MT	
10.45 – 11.00	<b>DISKUSI SESI 1</b>		
11.00 – 11.30	Pembicara 2 :	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir	
11.30 – 12.00	Pembicara 3 :	Prof. Dr. Kusminarto Universitas Gadjah Mada  Moderator Sesi 2: Drs. Edi Winarko, M.Sc., P.hD Sekre Sidang: Endang Kunarsih, M.Si	
12.00 – 12.15	<b>DISKUSI SESI 2</b>		
12.15 – 13.30	<b>ISHOMA</b> <b>Presentasi POSTER sesi 1 (tayangkan slide abstrak)</b>		
13.30 – 15.45	Presentasi ORAL Kelas FRZR 1 Moderator: Zainal Arifin, MT Sekre sidang: Rini Suryanti dan Samsuri	Presentasi ORAL Kelas IBN/IT/KP Moderator: Dr. Djoko Hari Nugroho Sekre sidang: Zalfy dan Sudarto	
	Presentasi ORAL Kelas Umum Moderator: Dra. Dahlia C Sinaga, MT Sekre sidang: Eni Erawati dan Beta		
	OA1 - Azhar	OB1 – Eri Hiswara	OC1 – Yus Rusdian
	OA2 – Rini Suryanti	OB2 – Nanang Triagung EH	OC2 – Reno Alamsyah
	OA3 – Endang Kunarsih	OB3 – Farid Noor J	Diskusi
	Diskusi	Diskusi	OC3 – Susilo W
	OA4 - Sunarya	OB4 – Arief Isnaeni	OC4 – Nazaroh
	OA5 - Lailatul M	OB5 – Azizul Hakim	OC5 – Arifin M

	OA6 – Yudi Meidiansyah	OB6 – Dewi Prima M	Diskusi
	Diskusi	Diskusi	OC6 - M. Mamat
	OA7 – Haendra Subekti	OB7 – Rahmat Edi H	OC7 – Dewi Apriliani
	OA8 – Wawan Susanto	OB8 – Rahmat Nurcahyo	Diskusi
	OA9 – Chrisantus Aristo	OB9 – Rahmat Edi H	
	Diskusi	Diskusi	
15.45 – 16.15	<b>REHAT KOPI</b> <b>Presentasi POSTER sesi 2 (tayangkan slide abstrak)</b>		
16.15 – 17.00	OA10 - Mukhlisin		
	OA11 – Assef F		
	OA12 - Nurhuda		
	Diskusi		
17.00 – 17.30	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Penghargaan kepada 5 (lima) makalah terbaik, 3 (tiga) penyaji oral terbaik dan 3 (tiga) penyaji poster terbaik</li> <li>2. Perumusan</li> <li>3. Penutupan</li> </ol> Pembagian Sertifikat	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ketua Panitia</li> <li>2. Ketua Panitia</li> <li>3. Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad (Deputi Pengkajian Keselamatan Nuklir BAPETEN)</li> </ol>	

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
SAMBUTAN	iii
SUSUNAN PANITIA SKN 2017	v
JADWAL ACARA	vii
DAFTAR ISI	ix
<b>MAKALAH PENYAJI ORAL FRZR</b>	
BEBERAPA IMPLIKASI NILAI BATAS DOSIS BARU LENSA MATA <i>Azhar</i>	1
TANTANGAN DALAM PEMBERLAKUAN PEMANTUAN DOSIS LENSA MATA UNTUK PEKERJA RADIASI DAN STRATEGI PENYELESAIANNYA <i>Rini Suryanti, Iswandarini</i>	6
PENETAPAN PEMBATAS DOSIS DAN PERANANNYA DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI BAGI PEKERJA RADIASI DI FASILITAS KEDOKTERAN NUKLIR <i>Endang Kunarsih</i>	12
OPTIMISASI PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PADA RADIOLOGI ANAK <i>Leily Savitri, Sunarya</i>	17
PROFIL DOSIS RADIASI PADA PROSEDUR KARDIOLOGI INTERVENSIONAL ANAK DALAM MEMPERKIRAKAN RESIKO TERJADINYA EFEK STOKASTIK : STUDI AWAL <i>Lailatul Muqmiroh, Soegardo IP, Risalatul Latifah, Rusmanto, Anggraini DS, I Ketut Alit U</i>	23
PENGEMBANGAN APLIKASI REKAM DOSIS UNTUK PEMERIKSAAN PAYUDARA DENGAN PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI BERBASIS WEB SERVICE <i>Yudi Meidiansyah, Zaenal Arifin, Muhammad Izzuddin Shofar</i>	28
PERANAN ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM MENJAMIN MUTU HASIL UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOGRAFI MOBILE <i>Endang Kunarsih, Haendra Subekti</i>	35
PENENTUAN SETTING PENYINARAN PESAWAT SINAR-X UNTUK MENDAPATKAN KUALITAS CITRA TINGGI DENGAN DOSIS RENDAH PADA RADIOGRAFI DADA MENGGUNAKAN NILAI RASIO CNR <i>Wawan Susanto</i>	42
TINJAUAN PERSYARAN PERSONIL IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI I DAN IRADIATOR DENGAN PEMBANGKIT RADIASI PENGION KATEGORI I SEBAGAI BAHAN PERTIMBANGAN PENYUSUNAN RANCANGAN PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN RADIASI DALAM PENGGUNAAN IRADIATOR <i>Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana</i>	48
VERIFIKASI PAPARAN RADIASI TERHADAP DESAIN PERISAI RADIASI TOMOTERAPI HELIKAL HI-ART <i>Mukhlisin, Asep Saefulloh Hermawan</i>	55
PENENTUAN DOSIS SERAP AIR BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION NO. SERI 6428 <i>Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Nurman Rajagukguk, Gatot Wurdianto</i>	63
PERFORMA PRODUKSI RADIOFARMAKA POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET) SCAN UNTUK PENEGAKAN DIAGNOSA DI RUMAH SAKIT KANKER DHARMAIS <i>Nurhuda, Listiawadi, Astarina, Ismuha, Kardinah</i>	67

**MAKALAH PENYAJI ORAL IBN/IT/KP**

PLTN DAN PENDAPAT PUBLIK <i>Eri Hiswara</i>	71
STRATEGI PENGUATAN LANDASAN HUKUM PERSYARATAN KEAMANAN DUNIA MAYA (CYBER SECURITY) DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR UNTUK Mendukung KEAMANAN NUKLIR NASIONAL <i>Nanang Triagung Edi Hermawan</i>	78
INTEGRASI KESELAMATAN DAN KEAMANAN PADA SIKLUS HIDUP SISTEM YANG PENTING UNTUK KESELAMATAN BERBASIS KOMPUTER <i>Farid Noor Jusuf, Catur Febriyanto Sutopo</i>	83
PERHITUNGAN REAKTIVITAS LEBIH REAKTOR KARTINI MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE <i>Arif Isnaeni</i>	89
KARAKTERISTIK NEUTRONIK SISTEM SAMOP (SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR MO-99 PRODUCTION) <i>Azizul Khakim, Syarip dan Suharyana</i>	96
TINJAUAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL INDONESIA UNTUK PETUGAS INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR <i>Dewi Prima Meiliasari, Bambang Eko Aryadi, Yudi Pramono</i>	103
STUDI KARAKTERISTIK TAPAK ASPEK METEOROLOGI DI KAWASAN SERPONG <i>Rahmat Edhi Harianto, Supyana, Tino Sawaldi AN</i>	108
ANALISIS KEANDALAN KOMPONEN SISTEM PROSES PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RISET G.A. SIWABESSY <i>Rahmat Nurcahyo, Winda Sarmita, M. Dachyar, Edison</i>	113
ANALISIS NUMERIK SIMULASI KEBAKARAN PADA FASILITAS HDR T-51 MENGGUNAKAN GAS PROPAN DENGAN PROGRAM KOMPUTER SYLVIA <i>Rahmat Edhi Harianto</i>	120
<b>PENYAJI ORAL UMUM</b>	
RANCANGAN PENERAPAN PRINSIP JUSTIFIKASI PROTEKSI RADIASI BERBASIS REKOMENDASI IAEA UNTUK PENGAWASAN PEMANFAATAN NUKLIR DI INDONESIA <i>Yus Rusdian Akhmad</i>	126
PENINGKATAN INFRASTRUKTUR KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA MELALUI KESERTAAN SEBAGAI NEGARA PIHAK KONVENSI KESELAMATAN NUKLIR <i>Reno Alamasyah, Bintoro Aji, Djoko Hari Nugroho</i>	134
PENERAPAN KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM REGULASI KETENAGANUKLIRAN <i>Susilo Widodo</i>	145
PENGARUH SINAR-X/FOTON PADA RENTANG ENERGI (12,7- 661,6) keV TERHADAP RESPON TLD BARC (CaSO <sub>4</sub> :Dy) DAN ALGORITMA UNTUK EVALUASI RESPON TLD <i>Nazaroh, Rofiq Syaifudin, C. Tuti Budiantari</i>	153
PENGAWASAN DOSIS PEKERJA RADIASI MENGGUNAKAN BALIS PENDORA (PENCATATAN DOSIS PEKERJA RADIASI) SEBAGAI NATIONAL RADIATION WORKER DOSE REGISTRY (NRWDR) <i>Arifin Muhammad Wibowo, Fajariadi</i>	162
KAJIAN REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESIAPSIAGAAN DAN PENANGGULANGAN KEDARURATAN NUKLIR <i>Mohamad Mamat, Bambang Eko Aryadi</i>	166
TELAAH PERATURAN KEPALA BAPETEN NO.1 TAHUN 2010 TERHADAP PERSYARATAN IAEA SAFETY STANDARD SERIES NO. GSR PART 7 <i>Dewi Apriliani</i>	173

**MAKALAH PENYAJI POSTER FRZR**

KAJIAN PENERIMAAN DOSIS RADIASI TAHUN 2014 - 2016 PEKERJA RADIASI BIDANG TEKNOLOGI RADIOFARMAKA PTRR BATAN <i>Rr. Djarwanti RPS, Fath Priyadi, Didik Setiaji, Yono Sugiharto</i>	<b>182</b>
KAJIAN PENGAWASAN RADIOAKTIVITAS ALAM LUMPUR SIDOARJO <i>Moekhammad Alfyan</i>	<b>186</b>
PERBEDAAN INDIKATOR NILAI DOSIS RADIASI (CTDI <sub>w</sub> ) DAN IMAGE NOISE PADA TEKNIK SEKUENS DAN SPIRAL PADA COMPUTED TOMOGRAPHY FACE BONE (STUDI PADA MODALITAS CT SCAN MERK SIEMENS 6 SLICE) <i>Yeti Kartikasari, Sri Mulyati, Bachtiar Arif Nugroho</i>	<b>190</b>
KAJIAN PROGRAM JAMINAN MUTU RADIOTERAPI TEKNIK LANJUT AKSELERATOR LINEAR BERBASIS AAPM TASK GROUP NO. 142 <i>Ahmad Maulana, Mukhlisin</i>	<b>195</b>
ANALISA PENERIMAAN DOSIS SERAP ORGAN REPRODUKSI PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI ABDOMEN ANTARA PENGGUNAAN TEKNIK kV RENDAH DAN TEKNIK kV TINGGI <i>Rini Indrati, Rika Sumala, Sudiyono, Siti Daryati</i>	<b>203</b>
DOSIS RADIASI PADA PEMERIKSAAN CT SCAN KEPALA DENGAN SCANOGRAM SEJAJAR INFRA ORBITAL MEATAL LINE (IOML) DAN MODIFIKASI SUPRA ORBITAL MEATAL LINE (SOML) <i>Darmini, J. Dahjono, Bagus Dwi Handoko, Dwi Rochmayanti</i>	<b>208</b>
PENINGKATAN KUALITAS PERATURAN KEPALA BAPETEN MELALUI IMPLEMENTASI ISO 9001:2015 <i>Satria Prahara</i>	<b>212</b>
PERUBAHAN-PERUBAHAN PADA REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN NO. 9 TAHUN 2011 TENTANG UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL <i>Sawiyah, Soegeng Rahadhy</i>	<b>216</b>
TANTANGAN PENERAPAN OPTIMISASI PADA PEMANFAATAN PESAWAT SINAR-X CT SCAN BERDASARKAN HASIL INSPEKSI <i>Ida Bagus Manuaba, Bambang Riyono</i>	<b>220</b>
TINJAUAN PENGELOLAAN DISUSED SEALED RADIOACTIVE SOURCES (DSRS) DARI PERSPEKTIF PENGATURAN <i>Soegeng Rahadhy</i>	<b>227</b>
DAFTAR PEMERIKSAAN UJI KOMISIONING IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI IV <i>Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana</i>	<b>231</b>
PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PADA PESAWAT TELETERAPI DI INDONESIA DAN ASPEK KESELAMATANNYA <i>Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Nurman Rajagukguk, Gatot Wurdianto</i>	<b>238</b>
PENILAIAN DOSIS ORANG REPRESENTATIF DARI DISPERSI ATMOSFERIK LEPASAN RADIOAKTIVITAS DI KAWASAN NUKLIR SERPONG MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CROM <i>Diella Ayudhya Susanti, Moekhammad Alfyan</i>	<b>243</b>
PROSES DAUR ULANG ZAT TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN BERDASARKAN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 61 TAHUN 2013 <i>Suhaedi Muhammad, R.r. Djarwanti, RPS</i>	<b>248</b>
<b>MAKALAH PENYAJI POSTER IBN/IT/KP</b>	
KAJIAN PERATURAN DAN STANDAR SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA PLTN <i>Liliana Yetta Pandi, Mohammad Tharil Azis, Sri Budi Utami</i>	<b>252</b>
PERANAN CLEARINGHOUSE DALAM PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN <i>Catur Febriyanto</i>	<b>259</b>

LEPASAN RADIASI DARI PENGOPERASIAN REAKTOR SERBA GUNA GA SIWABESSY KE LINGKUNGAN <i>Liliana Yetta Pandi, Veronica Tuka</i>	264
KOMPETENSI DASAR UNTUK PETUGAS PERAWATAN INSTALASI NUKLIR NON REAKTOR (INNR) <i>Imron, Ardiyani Eka Patriasari, Supyana</i>	268
PENGEMBANGAN PERATURAN MENGENAI KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NONDAYA <i>Angga Kautsar, Dwihardjo Rushartono, Yudi Pramono</i>	273
TINJAUAN PENERAPAN ASPEK KESELAMATAN PADA INSTALASI ELEMEN BAHAN BAKAR EKSPERIMENTAL BERDASAR IAEA-TECDOC 1221 <i>Nudia Barenzani, Sjafruddin</i>	277
MANAJEMEN DESAIN DALAM PEMBANGUNAN INSTALASI NUKLIR <i>Arifin Muhammad Susanto</i>	283
MANAJEMEN RISIKO DALAM KONSTRUKSI INSTALASI NUKLIR/PLTN DAN PERATURAN YANG BERLAKU DI INDONESIA <i>Arifin Muhammad Susanto</i>	291
KEBIJAKAN DAN STRATEGI NASIONAL KESELAMATAN NUKLIR DAN RADIASI <i>Donni Taufiq</i>	298
ANALISIS SPEKTRUM NEUTRON ELEMEN BAKAR TRIGA 2000 BANDUNG AKIBAT PERUBAHAN TEMPERATUR <i>Hidayati Amar, MT.</i>	303
KONSEP PENGEMBANGAN PENGATURAN PROTEKSI FISIK INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR SERTA PENGANGKUTAN BAHAN NUKLIR <i>Suci Prihastuti, Zulfiandri</i>	309
KESELAMATAN PENANGANAN DAN PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS REAKTOR BERPENDINGIN GAS / HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR (HTGR) DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS, LEGAL, DAN KEBIJAKAN STRATEGI NASIONAL <i>Pandu Dewanto dan Agus Yudhi Pristianto</i>	315
KAJIAN NEUTRONIK PERANGKAT SUBKRITIK UNTUK PRODUKSI MO-99 (SAMOP) <i>Diah Hidayanti Sukarno</i>	321
PENERAPAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS ATMOSFERIK DI KAWASAN NUKLIR SERPONG <i>Arif Yuniarto, Syahrir, Untara, Chevy Cahyana</i>	327
EVALUASI KESELAMATAN REAKTOR DITINJAU DARI NILAI SHUTDOWN MARGIN PADA SISTEM SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR 99Mo PRODUCTION (SAMOP) <i>Yunita Anggraini, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	334
KAJIAN KESELAMATAN ASPEK LEPASAN BAHAN BERBAHAYA ETILEN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ALOHA <i>Nur Siwhan</i>	339
EVALUASI KESELAMATAN HTR-10 KETIKA TERJADI KECELAKAAN KOMPAKSI BAHAN BAKAR DENGAN KODE MVP <i>Uswatun Chasanah, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	343
ANALISIS KONSENTRASI UDARA AKIBAT KECELAKAAN REAKTOR KARTINI DITINJAU DARI VARIASI BAHAN BAKAR YANG MELELEH DENGAN SOFTWARE PC-COSYMA <i>Hanifah Nur Syafitri, Suharyana, Diah Hidayanti</i>	348
PERHITUNGAN DETERMINISTIK DAMPAK RADIOLOGI KECELAKAAN REAKTOR KARTINI TERHADAP KONSENTRASI RADIONUKLIDA DI TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE PC-COSYMA <i>Desintha Fachrunnisa, Diah Hidayanti, Suharyana</i>	353
DESKRIPSI KONDISI AT ONE STUCK ROD HTR-10 DITINJAU DARI NILAI SHUTDOWN MARGIN <i>Rizki Budi Rahayu, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	358
PERHITUNGAN DAMPAK RADIOLOGI AKIBAT PENGOPERASIAN HTGR DENGAN PROGRAM KOMPUTER CROM <i>Agus Waluyo</i>	363

**MAKALAH PENYAJI POSTER UMUM**

KAJIAN PENATALAKSANAAN KESEHATAN PEKERJA RADIASI YANG MENERIMA DOSIS RADIASI BERLEBIH <i>Suhaedi Muhammad, R.r. Djarwanti, RPS, Susyati</i>	<b>368</b>
KOPERASI SEBAGAI PELAKSANA DI DALAM UNDANG-UNDANG NOMOR 10 TAHUN 1997 <i>Dewi Prima Meiliasari, Dwihardjo Rushartono, Yudi Pramono</i>	<b>372</b>
PENGEMBANGAN PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR MENGENAI LABORATORIUM ANALISIS RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN <i>Hermawan Puji Yuwana</i>	<b>377</b>
TINJAUAN INTEGRATED NUCLEAR SECURITY SUPPORT PLAN (INSSP) DALAM IMPLEMENTASI KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA <i>Indah Annisa</i>	<b>383</b>

**LAMPIRAN**

<b>Lampiran A.</b> MAKALAH PEMBICARA KUNCI
<b>Lampiran B.</b> TANYA JAWAB PRESENTASI ORAL DAN POSTER
<b>Lampiran C.</b> TANYA JAWAB SIDANG PLENO PEMBICARA KUNCI
<b>Lampiran D.</b> PENGHARGAAN



# MAKALAH PENYAJI ORAL FRZR





## BEBERAPA IMPLIKASI NILAI BATAS DOSIS BARU LENSA MATA

Azhar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> DIFRZR - Badan Pengawas Tenaga Nuklir  
Email: a.azhar@bapeten.go.id

### ABSTRAK

ICRP merekomendasikan penurunan Nilai Batas Dosis (NBD) lensa mata untuk pekerja radiasi dari 150 mSv menjadi 20 mSv dalam 1 tahun yang dirata-ratakan selama periode 5 tahun, dan dalam 1 tahun tertentu tidak melampaui 50 mSv. Rekomendasi perubahan NBD lensa mata ini kemudian dimasukkan dalam GSR Part 3- IAEA Basic Safety Standards yang disahkan pada tahun 2014. Penurunan NBD lensa mata ini menimbulkan implikasi yang besar pada berbagai bidang pemanfaatan radiasi yang memerlukan pendekatan yang sesuai untuk perlindungan mata dan pemantauan dosis lensa mata.

**Kata kunci** : dosis lensa mata, implikasi, TECDOC

### ABSTRACT

ICRP recommended a reduction in the equivalent dose limit for occupational exposure for the lens of the eye from 150 mSv to 20 mSv in a year, averaged over defined periods of 5 years. The recommendation of changing the dose limit of the lens of the eye is then incorporated into IAEA GSR-Part 3, International Basic Safety Standard 2014. The reduction of the dose limit has significant implication in view of the application to planned exposure for different areas of occupational exposure and needs adequate approaches for eye protection and eye dose monitoring.

**Keywords** : dose of the eye, implications, TECDOC

## I. PENDAHULUAN

Pada bulan April 2011, International Commission on Radiological Protection (ICRP) merevisi nilai dosis ambang untuk katarak menjadi 0,5 Gy. Sebelumnya ICRP merekomendasikan nilai dosis ambang katarak sebesar 5 Gy untuk penyinaran akut dan > 8 Gy untuk penyinaran yang berkepanjangan. Kemudian ICRP merekomendasikan penurunan Nilai Batas Dosis (NBD) lensa mata untuk pekerja radiasi dari 150 mSv menjadi 20 mSv dalam 1 tahun yang dirata-ratakan selama periode 5 tahun, dan dalam 1 tahun tertentu tidak melampaui 50 mSv [4]. Rekomendasi perubahan NBD lensa mata ini kemudian dimasukkan dalam GSR Part 3- IAEA Basic Safety Standards yang disahkan pada tahun 2014. Penurunan NBD lensa mata ini menimbulkan implikasi yang besar pada berbagai bidang pemanfaatan radiasi yang memerlukan pendekatan yang sesuai untuk perlindungan mata dan pemantauan dosis lensa mata. Berbagai studi mengenai dosis lensa mata telah dilakukan di banyak negara antara lain ORAMED Project (2008-2011) [2], dan ISEMIR-WGIR IAEA Project (2012) [7]. Hasil studi menunjukkan bahwa ada sebagian kelompok pekerja yang menerima dosis lensa melampaui NBD lensa mata yang baru.

## II. METODOLOGI/LANDASAN TEORI

Penurunan Nilai Batas Dosis lensa mata dari 150 mSv per tahun menjadi 20 mSv per tahun menimbulkan beberapa implikasi pada penggunaan

radiasi di bidang kesehatan dan industri. Implikasi yang sangat menjadi perhatian terutama pada penggunaan radiasi di fasilitas radiologi dan kardiologi intervensional [4].

Dalam persyaratan 13 dari GSR Part 3 dinyatakan bahwa “badan pengawas harus menetapkan dan menegakkan persyaratan untuk pengkajian keselamatan, dan badan atau organisasi yang bertanggung jawab untuk fasilitas atau kegiatan yang menimbulkan resiko radiasi harus melakukan pengkajian keselamatan yang memadai”. Pengkajian keselamatan yang dimaksud mencakup semua aspek pemanfaatan yang berkaitan dengan proteksi dan keselamatan yang harus dilaksanakan pada berbagai tahap termasuk tahap penentuan lokasi kegiatan, disain, pembuatan (manufaktur), konstruksi, perakitan, komisioning, operasi, pemeliharaan dan dekomisioning fasilitas.

Untuk memberikan panduan tentang penerapan nilai batas dosis lensa mata ini IAEA menerbitkan panduan tentang beberapa implikasi nilai batas baru lensa mata sebagaimana dinyatakan dalam TECDOC 1731. Beberapa implikasi dimaksud antara lain yaitu pengkajian keselamatan, kelompok pekerja yang dosis lensa matanya penting menjadi perhatian, optimisasi proteksi dan pemantauan lensa mata [4,5].

### 2.1 Pengkajian keselamatan

Pemegang izin harus melakukan pengkajian untuk :

- Mengidentifikasi jika ada pekerja yang menerima dosis signifikan pada lensa matanya ( dalam orde beberapa mSv per tahun)
- Memastikan bahwa peralatan dan instalasi telah didisain sedemikian rupa sehingga proteksi mata telah optimal
- Menetapkan prosedur operasi yang diperlukan untuk menjamin bahwa proteksi mata telah optimal
- Mensyaratkan penggunaan peralatan pelindung diri untuk pekerja jika disain peralatan dan instalasi , dan prosedur operasi tidak cukup untuk menjamin proteksi mata. [4,5]

## 2.2 Kelompok pekerja yang dosis lensa matanya penting

Ada 3 kelompok pekerja yang mungkin menerima dosis signifikan pada lensa mata dan perlu diperhatikan yaitu :

- Pekerja yang terpapar seluruh tubuhnya di medan radiasi uniform
- Pekerja yang terpapar di medan radiasi tak uniform dan dosis di bagian mata lebih utama
- Pekerja yang terpapar radiasi lemah seperti radiasi beta atau foton di bawah 15 keV yang memberikan dosis signifikan pada lensa mata tapi tidak ke seluruh tubuh (dosis efektif).[5]

Kelompok terbesar yang menerima dosis signifikan pada lensa mata adalah :

- Pekerja yang melakukan prosedur radiologi dan kardiologi intervensional berpandu citra (fluoroscopy guided)
- Pekerja di instalasi kedokteran nuklir yang menyiapkan sumber/radiofarmaka, PET/CT
- Pekerja yang terlibat brakiterapi manual
- Pekerja yang terlibat pada prosedur intervensional berpandu CT (CT-guided)
- Pekerja siklotron
- Pekerja yang menggunakan glove box
- Pekerja dekomisioning fasilitas nuklir
- Pekerja yang menangani Plutonium atau Uranium susut kadar[4,5]

## 2.3 Optimisasi proteksi

Prinsip optimisasi proteksi adalah mengupayakan agar dosis yang diterima individu dan jumlah individu yang menerima dosis serendah mungkin dengan mempertimbangan faktor ekonomi dan sosial. Untuk itu maka baik dosis efektif maupun dosis ekuivalen harus diusahakan serendah mungkin. Sekarang ini ada dugaan kuat bahwa efek katarak merupakan efek stokastik yang tidak memerlukan dosis ambang, mengingat hasil penelitian ditemukan bahwa hubungan antara dosis dan resiko induksi katarak pada dosis tinggi ternyata tidak meningkat tajam seperti pada efek deterministik umumnya. Ada beberapa cara pengendalian yang perlu dipertimbangkan dalam mencapai optimisasi proteksi. Dalam TECDOC 1731, IAEA merekomendasikan 3 cara yaitu pengendalian terekayasa, pengendalian administratif dan penggunaan peralatan protektif perorangan (PPE). Contoh dari fitur pengendalian terekayasa adalah pemasangan kaca timbal pada instalasi. Bila

pengendalian terekayasa tidak cukup memberikan perlindungan pada lensa mata maka diperlukan pengendalian administratif yang dapat berupa pembagian daerah kerja dan pembuatan prosedur operasi. Jika keduanya belum cukup memberikan perlindungan yang memadai maka diperlukan penggunaan peralatan pelindung personal. [4,5]. Umumnya untuk melindungi lensa mata digunakan kaca mata yang sesuai seperti kaca mata Perspex untuk radiasi beta dan kaca mata timbal untuk radiasi foton energi rendah.[4]

## 2.4 Pemantauan lensa mata

Dalam TECDOC 1731 dinyatakan bahwa cara yang akurat untuk pemantauan dosis lensa mata adalah dengan mengukur  $H_p(3)$ , menggunakan dosimeter yang dikenakan sedekat mungkin dengan mata. Namun sayangnya dosimeter  $H_p(3)$  jarang ditemukan di pasaran. TECDOC merekomendasikan agar pemantauan lensa mata perlu dilakukan jika dosis lensa mata diperkirakan melebihi 5 mSv per tahun. TECDOC juga memberikan panduan tentang kapan dosimeter  $H_p(0.07)$  atau  $H_p(10)$  digunakan dan kapan dosimeter  $H_p(3)$  harus digunakan. Dosimeter  $H_p(0.07)$  dan  $H_p(10)$  dapat digunakan untuk memperkrakan dosis lensa mata asal dikalibrasi dengan kondisi tertentu. [4]

## 2.5 Prosedur pemantauan lensa mata

Cara yang paling akurat untuk pemantauan dosis lensa mata ialah dengan mengukur dosis  $H_p(3)$  dengan dosimeter yang dipakai di dekat mata. Pada penyinaran radiasi homogen, dosimeter seluruh tubuh yang dipakai di dada memberikan perkiraan yang cukup bagus untuk mengukur dosis efektif seluruh tubuh dan dosis ekuivalen lensa mata.

Dalam hal penyinaran yang tidak homogen seperti prosedur klinik yang mana pekerja menggunakan apron untuk melindungi sebagian tubuhnya, maka diperlukan lebih dari 1 dosimeter. Dosimeter yang dipakai di bawah apron memberikan perkiraan dosis efektif tetapi tidak menunjukkan dosis lensa mata. Dalam hal ini disarankan menggunakan dosimeter kedua yang dipakai di kerah baju atau dekat kepala untuk bisa mengukur dosis lensa mata. [4]

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berbagai studi mengenai dosis lensa mata telah dilakukan di banyak negara terutama untuk memperkirakan dosis lensa mata para pekerja radiasi di instalasi radiologi dan kardiologi intervensional . Beberapa kegiatan studi tersebut dilakukan antara lain oleh Belgian ExDos project (2008-2011), ORAMED Project (2008-2011) [2], dan ISEMIR-WGIR IAEA Project (2012)[7].

Hasil studi menunjukkan bahwa ada sebagian kelompok pekerja yang menerima dosis lensa melampaui NBD lensa mata yang baru.

Efstathopoulos et al. melakukan penelitian dosis pekerja yang melaksanakan prosedur radiologi dan kardiologi intervensional. Sebanyak 25 prosedur diagnostik dan terapi didapatkan bahwa para petugas intervensional menerima dosis lensa mata sebesar 64-1129  $\mu$ Sv , dan

para perawat menerima dosis sebesar 4-16  $\mu\text{Sv}$ . Hasil penelitian menyimpulkan bahwa dalam kondisi beban kerja maksimum dosis yang diterima petugas intervensional mencapai 27,9 mSv[1]. Studi lainnya dilakukan oleh Jacob et al. yang melakukan penelitian terhadap 129 petugas kardiologi intervensional dan electro physiologist yang rata-rata telah bekerja selama 22 tahun. Hasil studi tersebut menyimpulkan dosis kumulatif pada lensa mata pekerja berkisar antara 25 sampai 1600 mSv. Selanjutnya Vano et al. menemukan dosis kumulatif lensa mata parapetugas yang bekerja di lab kateterisasi berkisar dari 0,1 sampai 18,9 Sv.[1]

Project ORAMED (The Optimization of Radiation Protection for Medical staff) melakukan penelitian di 6 negara yang berbeda dan melakukan pengamatan pada lebih dari 1300 prosedur radiologi dan kardiologi intervensional. Penelitian ini menghasilkan bahwa dosis lensa mata pekerja berkisar antara 10  $\mu\text{v}$  sampai 4 mSv per prosedur, sedangkan dosis kumulatif lensa mata berkisar antara 1 sampai 150 mSv dan terdapat sebanyak 24 % pekerja menerima dosis lensa mata melebihi nilai batas baru 20 mSv[2]. Hasil studi ini menekankan perlunya pendidikan dan latihan untuk para petugas yang melakukan prosedur radiologi dan kardiologi intervensional tentang prinsip dan peraturan proteksi radiasi serta penggunaan peralatan proteksi radiasi.

Kalau nilai batas dosis baru sebesar 20 mSv per tahun diterapkan maka jumlah pemeriksaan/prosedur intervensional akan banyak berkurang mengingat untuk beberapa tindakan menghasilkan dosis lensa mata yang cukup besar per prosedur. Agar dosis yang diterima para petugas tidak melampaui nilai batas yang baru tanpa menurunkan jumlah pemeriksaan maka diperlukan upaya proteksi radiasi yang lebih ketat[6]. Untuk ini pemantauan dosis lensa mata dan penggunaan alat pelindung seperti kaca mata Pb dan tabir Pb yang digantung menjadi sangat penting [4]. IRPA pada bulan Januari 2017 memberikan pedoman tentang beberapa cara perlindungan terhadap mata.

#### 1. Kaca mata

Penggunaan kaca mata pelindung dapat menurunkan dosis lensa mata. Adapun jenis kaca mata yang diperlukan tergantung pada medan radiasi. Untuk penyinaran radiasi beta disarankan menggunakan kaca mata yang memakai lensa plastik (Perspex atau yang setara). Untuk penyinaran sinar-X digunakan kaca mata Pb. Penggunaan kaca mata Pb dapat menurunkan dosis pada mata sebesar 2-5 kali[4]. Dosis tipikal pada prosedur radiologi intervensional ditampilkan pada Tabel 3.1[4]

#### 2. Tabir Pb yang digantung (ceiling suspended screen)

Penggunaan tabir Pb yang digantung sangat baik untuk melindungi mata pekerja di fasilitas radiologi intervensional. Para pekerja perlu mendapatkan pelatihan tentang cara menggunakannya agar bisa memberikan perlindungan mata yang efektif. Penggunaan tabir ini dapat menurunkan dosis pada mata sebesar 4-5 kali[4]



**Gambar 3. 1** Prosedur Radiologi Intervensial [2]

Prosedur	Dosis Mata (mSv)	Catatan
Hepatic chemo-embolization	0.21 – 2.7	Tanpa perisai
	0.016 – 0.064	Dengan perisai
Iliac angioplasty	0.25 – 2.2	Tanpa perisai
	0.015 – 0.066	Dengan perisai
Neuroembolization (head, spine)	1.4 -11	Tanpa perisai
	0.083 – 0.34	Dengan perisai
Pulmonary angiography	0.19 – 1.5	Tanpa perisai
	0.011 – 0.045	Dengan perisai
TIPS creation	0.41 – 3.7	Tanpa perisai
	0.025 – 0.11	Dengan perisai
Cerebral angiography (CA)	0.046	Tanpa perisai
	0.025	Dengan perisai
	0.013	Dengan perisai
Endovascular aneurysm repair (EVAR)	0.01	Tanpa perisai
Urology	0.026	Tanpa perisai
Orthopedic	0.05	Tanpa perisai
Hysterosalpingography (HSG)	0.14	Tanpa perisai
Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP)	0.094	Tabung sinar-X di bawah meja
	0.55	Tabung sinar-X di atas meja
	2.8 (maks)	

**Tabel 3. 1** Dosis Tipikal pada Prosedur Radiologi Intervensi [5]



**Gambar 3. 2** Dosimeter  $H_p(3)$  yang dikembangkan oleh ORAMED [2]

#### IV. KESIMPULAN

Penurunan Nilai Batas Dosis lensa mata dari 150 mSv per tahun menjadi 20 mSv per tahun menimbulkan sejumlah implikasi. Beberapa kelompok pekerja dapat menerima dosis pada lensa mata yang melebihi NBD yang baru bila masalah proteksi kurang diperhatikan. Penggunaan kaca mata Pb dapat menurunkan dosis pada lensa mata sebesar 2-5 kali dan tabir Pb yang digantung dapat menurunkan dosis pada mata sebanyak 4-5 kali. Untuk beberapa prosedur diperlukan pemantauan dosis mata dengan menggunakan dosimeter  $H_p(3)$ . Mengingat dosimeter  $H_p(3)$  sulit didapatkan di pasaran, maka dosimeter  $H_p(0.07)$  dan  $H_p(10)$  dapat digunakan asal dikalibrasi dengan kondisi tertentu [4].

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] EFSTATHOPOULOS, E., "Occupational Eye Lens Dose in Interventional Radiology and Cardiology", Department of Radiology, Medical School, University of Athens, Greece, (2016).
- [2] STRUELENS, L., "Eye Lens Doses for Medical Staff Performing Interventional Procedures", Studiecetrum voor Kernenergie, Centre D'Etude De L'Energie Nucleaire, Belgium, (2013).
- [3] GUILFOYLE, R., THOMAS, P., WALLACE, A., "Implications of a reduced Dose Limit for the Lens of the Eye", ARPANSA, Australia, (2013). International Radiation Protection Association, "IRPA Guidance on Implementation of Eye Dose Monitoring and Eye Protection of Workers, (2017).
- [4] IAEA, "Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye", IAEA-TECDOC 1731, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, (2013)
- [5] HISWARA, E., 'Proteksi Radiasi Lensa Mata' Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-BATAN, Jakarta, Indonesia, (2013).
- [6] AL-HAJ, A., LOBRIGUITO, A., "Challenges of the New ICRP Eye Lens Dose Limit", Journal of Nuclear Medicine & Radiation Therapy, (2016).

- [7] VAN SONSBECK, R., LE HERON, J.C., ABELA, G., 'New Dose Limits for the Lens of the Eye Implications and Implementation Industrial Radiography", ISEMIR-WGIR, IAEA, (2012).
- [8] BOAL, T.J., PINAK,M., 'Dose Limits to the Lens of the Eye:International Basic Safety Standards and Related Guidance' , IAEA, (2013).



## TANTANGAN DALAM PEMBERLAKUAN PEMANTUAN DOSIS LENSA MATA UNTUK PEKERJA RADIASI DAN STRATEGI PENYELESAIANNYA

Rini Suryanti<sup>1</sup>, Iswandarini<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR)  
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)  
r.suryanti@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Dengan adanya penurunan NBD pekerja radiasi untuk dosis ekuivalen lensa mata yang semula 150 mSv dalam 1 tahun menjadi sama dengan NBD seluruh tubuh yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, Pasal 15 huruf c, maka dianggap penting untuk melakukan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi. Tantangan yang dihadapi dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata tersebut ada dua yaitu yang pertama adalah kesiapan infrastruktur laboratorium dosimetri untuk melakukan evaluasi dosis lensa mata masih dalam proses, baik proses mempersiapkan SDM yang kompeten, metode/prosedur yang tertelusur dan juga peralatan terkini dan terkalibrasi. Sedangkan yang ke dua adalah keterbatasan kemampuan Pemegang Izin dalam menyediakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata sehingga memerlukan ketentuan dari BAPETEN terkait pekerja radiasi yang wajib melakukan pemantauan dosis lensa mata. Tujuan penulisan makalah ini adalah membahas tantangan dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi dan strategi penyelesaiannya. Terkait tantangan pertama yaitu kesiapan infrastruktur Laboratorium Dosimetri, koordinasi antar pihak terkait seperti KEMENKES, PTKMR-BATAN dan BAPETEN sangat diperlukan dalam menyelesaikan tantangan pertama dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata ini. KEMENKES dibantu oleh PTKMR-BATAN selaku LDTN dan LDSS yang mempunyai tanggung jawab memberikan bimbingan kepada LDST (BPFK dan LPFK dibawah KEMENKES) untuk membangun SDM yang kompeten, menyusun metode/prosedur yang tertelusur dan pemilihan peralatan yang standar untuk melakukan evaluasi dosimeter lensa mata. KEMENKES yang merupakan induk dari BPFK dan LPFK harus melakukan koordinasi yang sangat kuat dengan PTKMR-BATAN, Sedangkan BAPETEN dalam hal ini mendorong percepatan penunjukan dengan melakukan sosialisasi terkait penambahan ruang lingkup evaluasi Hp (3) untuk dosimeter lensa mata dan juga menyediakan semua ketentuan terkait persyaratan penunjukan yang tercakup dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 tahun 2015. Terkait tantangan kedua, BAPETEN melakukan pendekatan bertingkat dengan memulai melakukan pemantauan dosis lensa mata untuk Pekerja radiasi yang bekerja di fasilitas radiologi intervensional dengan pekerja radiasi yang wajib menggunakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata adalah dokter spesialis kardiologi, dokter spesialis radiologi, radiografer, dan perawat intervensional. BAPETEN juga melakukan koordinasi dengan KEMENKES dalam melakukan sosialisasi kepada Pemegang Izin untuk pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata, memberikan informasi terkait pekerja radiasi yang diwajibkan untuk dilakukan pemantauan dosis lensa mata, disamping itu juga perlu diberikan kesadaran terhadap kepatuhan pekerja terkait untuk menggunakan peralatan pemantauan dosis lensa mata. Dengan demikian BAPETEN harus selalu melakukan koordinasi dengan pihak terkait dalam mensukseskan pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi.

**Kata kunci:** mata, dosimetri, pemantauan.

### ABSTRACT

*With the changes of dose limit for radiation workers for the equivalent eye-lens dose from 150 mSv in 1 year to be equal to the effective dose limit as mention in CR of BAPETEN No. 4 Year 2013, Article 15 letter c, it is considered important to enforce the implementation of eye-lens dose monitoring. The challenges faced in the implementation there are two things: the first challenges is infrastructure readiness the dosimetry laboratory to evaluate the eye-lens dose is still in the process, either in process preparing competent human resources, traceable methods / procedures as well as current and calibrated equipment. While the second is the limited ability of licensee in providing personal dosimeter for eye-lens dose monitoring so the required provisionsy related radiation workers who must monitor it. The purpose of this paper is to discuss the challenges in the implementation of eye lens dose monitoring for radiation workers and their coping strategies. Related to the first challenge is the preparation of Dosimetri Laboratory infrastructure, coordination between related parties such as KEMENKES, PTKMR-BATAN and BAPETEN is very necessary in solving the first challenge in the implementation of monitoring the dose of this lens. KEMENKES is assisted by PTKMR-BATAN as LDTN and LDSS who have the responsibility to provide guidance to LDST (BPFK and LPFK under KEMENKES) to build competent human resources, develop traceable methods / procedures and standard equipment selection to evaluate lens dosimeters. KEMENKES which is the parent of BPFK and LPFK must perform very strong coordination*

with PTKMR-BATAN. While BAPETEN in this case encourage acceleration by doing designation socialization related to addition of scope of Hp (3) evaluation for eye-lens dosimeter and also provide all provisions related to designation requirement as mention in CR No. 11 year 2015. Preparing for the second challenge is BAPETEN perform graded approach by starting at eye-lens dose monitoring for radiation workers working in an interventional radiology facility with radiation workers required to use individual dosimeters for eye-lens dose monitoring are cardiologist, radiologist, radiographer and interventional nurses. BAPETEN also coordinate with Ministry of Health in Socialize to the licensee for the implementation of eye-lens dose monitoring, to provide information regarding to radiation workers are required to using eye-lens dosimeter, and build the awareness of the radiation workers to use eye-lens dosimeter. Thus, BAPETEN must always coordinate with related parties in preparing all infrastructure for the implementation of monitoring of eye-lens doses for radiation workers.

**Keywords:** eye-lens, dosimetry, monitoring

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, Pasal 15 huruf c untuk Nilai Batas Dosis (NBD) pekerja radiasi dinyatakan bahwa Dosis ekuivalen untuk lensa mata rata-rata sebesar 20 mSv (duapuluh milisievert) per tahun dalam periode 5 (lima) tahun dan 50 mSv (limapuluh milisievert) dalam 1 (satu) tahun tertentu [1]. Dengan adanya penurunan NBD pekerja radiasi untuk dosis ekuivalen lensa mata yang semula 150 mSv dalam 1 (satu) tahun sebagaimana ditetapkan dalam Peraturan-peraturan Kepala Bapeten khususnya Perka Nomor 8 Tahun 2011 [2], menjadi sama dengan NBD pekerja radiasi untuk dosis efektif seluruh tubuh, maka semakin perlu dilakukan pemantauan dosis lensa mata bagi pekerja radiasi yang mempunyai risiko mendapatkan dosis lensa mata yang tinggi karena terpapar radiasi.

Perlunya pemantauan dosis untuk lensa mata juga didukung oleh hasil kajian pada tahun 2006 dan 2013 dengan judul kegiatan “Kajian Pengawasan Paparan Pekerja di Fasilitas Radiologi Intervensional”, dari hasil kajian tersebut ditemukan bahwa pekerja radiasi yang bekerja di radiologi intervensional mendapatkan dosis lensa mata melebihi yang ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN, sehingga dalam LHK kajian tahun 2013 tersebut disebutkan salah satu rekomendasinya adalah BAPETEN perlu mewajibkan penggunaan peralatan pemantauan dosimeter perorangan untuk lensa mata bagi pekerja radiasi pada fasilitas radiologi intervensional agar dosis lensa mata yang diterima dapat dipantau dan dievaluasi [4].

Dalam Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tersebut disebutkan bahwa ketentuan mengenai NBD Pekerja Radiasi untuk lensa mata wajib dipenuhi oleh Pemegang Izin paling lama 3 tahun terhitung sejak di undangkannya Peraturan tersebut pada tanggal 6 Mei 2013 [1], sehingga pada tahun 2016 sudah seharusnya ketentuan dalam Pasal 15 huruf c tersebut diberlakukan dalam rangka mewujudkan tugas BAPETEN dalam menjamin keselamatan bagi pekerja radiasi.

Persiapan pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata ini sudah dikawal oleh BAPETEN sejak tahun 2014 melalui kegiatan “Kajian Pengawasan Pelayanan Dosimetri Eksternal Perorangan Berbasis IAEA BSS: lens dose, deep dose & skin dose”. Salah satu tujuan dilakukan kajian ini adalah melihat kesiapan laboratorium dosimetri eksternal untuk pemantauan dosis lensa mata dalam rangka mengimplementasikan NBD sesuai Pasal 15 huruf c Peraturan Kepala

BAPETEN Nomor 4 tahun 2013. Melalui kegiatan kajian ini, BAPETEN melakukan himbauan kepada Laboratorium Dosimetri dan juga Pemegang Izin untuk mempersiapkan diri dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata. Dalam kajian tersebut, pengambilan data dilakukan terhadap 7 (tujuh) laboratorium dosimetri yaitu PTKMR-BATAN, PPIKSN-BATAN, BPFK Jakarta, BPFK Surabaya, BPFK Makassar, BPFK Medan dan LPFK Surakarta. Hasil kajian tahun 2014 tersebut menunjukkan bahwa PTKMR-BATAN menyatakan siap secara teknis dalam hal SDM yang kompeten dan metode/prosedur untuk melayani evaluasi dosis lensa mata, tetapi terkendala dengan ketersediaan peralatan yang ada. Lain halnya dengan BPFK Jakarta, BPFK Surabaya, BPFK Makassar BPFK Medan dan LPFK Surakarta belum siap untuk melayani evaluasi dosis lensa mata baik SDM yang belum kompeten, maupun metode/prosedur dan peralatan [5].

Dengan demikian, tantangan yang dihadapi oleh BAPETEN dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi semakin kompleks sehingga diperlukan koordinasi dengan semua pihak terkait, baik BAPETEN secara internal maupun pihak luar yang terkait dalam hal ini PTKMR sebagai Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) dan Laboratorium Dosimetri Tingkat Nasional (LDTN) [6] dan juga KEMENKES yang membawahi BPFK dan LPFK sebagai Laboratorium Dosimetri Standar Tersier (LDST) dan juga fasilitas kesehatan (dalam hal ini rumah sakit dan klinik).

Tujuan penulisan makalah ini adalah membahas terkait tantangan dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi dan strategi penyelesaiannya. Tantangan tersebut harus diselesaikan dengan berkoordinasi dengan pihak terkait, dalam hal ini adalah BAPETEN, PTKMR-BATAN, KEMENKES. Perlu disampaikan bahwa makalah ini dapat dikatakan sebagai bahasan lanjutan makalah dengan judul “Pengembangan Pengawasan Proteksi dan Keselamatan Radiasi terhadap Lensa Mata Personil Radiologi Intervensional” yang disampaikan dalam Seminar Keselamatan Nuklir Tahun 2013 yang lalu [7].

## II. LANDASAN TEORI (POKOK BAHASAN)

Perubahan dosis ekuivalen untuk lensa mata dari 150 mSv menjadi 20 mSv, yang sudah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013, Pasal 15 huruf (c), merupakan hasil penyesuaian dengan *General Safety Requirement* (GSR) Part 3, IAEA,

“*Radiation Protection and Safety Radiation Sources: International Basic Safety Standards*”, yang diterbitkan bulan Juli Tahun 2014 yang mengikuti rekomendasi dari *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) dalam pernyataan tentang efek jaringan tanggal 21 April 2011. Perubahan yang signifikan tersebut didasari atas berubahnya Batas Dosis Tahunan (BDT) lensa mata dari 5 Gy (ICRP 103) menjadi 0,5 Gy (ICRP 118) [9].

Penggunaan dosimeter untuk memantau dosis yang diterima lensa mata diwajibkan untuk pekerja radiasi yang diperkirakan mendapatkan dosis untuk lensa mata melebihi atau sama dengan 5 mSv per tahun [9]. Pekerja radiasi yang perlu menggunakan dosimeter lensa mata adalah pekerja radiasi yang berkerja di fasilitas Radiologi dan kardiologi intervensional, Fluoroskopi intervensional, Brachiterapi manual, CT Intervensial, Penyiapan sumber terbuka/radiofarmaka untuk PET/CT dan Produksi radioisotop (cyclotron) [9].

Dari hasil kajian yang telah dilakukan oleh BAPETEN pada tahun 2014 dan kajian tahun 2006 dan 2013 terkait pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi, teridentifikasi bahwa tantangan yang harus dihadapi dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata ini adalah yang pertama adalah kesiapan infrastruktur laboratorium dosimetri untuk melakukan evaluasi dosis lensa mata masih dalam proses, baik dalam proses mempersiapkan SDM yang kompeten, metode/prosedur yang tertelusur dan juga peralatan terkini dan terkalibrasi dan tantangan yang kedua adalah keterbatasan kemampuan Pemegang Izin dalam menyediakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata sehingga memerlukan ketentuan dari BAPETEN terkait pekerja radiasi yang wajib melakukan pemantauan dosis lensa mata. Dua tantangan tersebutlah yang merupakan tantangan yang harus dijawab oleh BAPETEN bersama-sama dengan PTKMR-BATAN dan KEMENKES dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rangka menjangkau informasi terkait status terkini dan membahas tantangan yang dihadapi di lapangan dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi maka BAPETEN pada Tanggal 19 Mei 2016 menyelenggarakan workshop sehari dengan judul “Persiapan Laboratorium Dosimetri Eksternal Untuk Melaksanakan Evaluasi Dosis Lensa Mata”. Workshop dihadiri oleh seluruh Laboratorium Dosimetri yaitu PTKMR BATAN, PPIKSN BATAN, BPFK Jakarta, BPFK Medan, BPFK Makassar, BPFK Surabaya, LPFK Surakarta dan LPFK Banjar baru, dan dari BAPETEN yaitu DP2FRZR-BAPETEN, DPFRZR-BAPETEN, P2STPFRZR-BAPETEN dan DK2N-BAPETEN dan KEMENKES. Tujuan diadakannya workshop adalah membangun kesepahaman, kesepakatan, dan menghasilkan komitmen dari para pihak terkait dalam rangka pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi. Dan sasaran workshop adalah terlaksananya pemantauan dosis lensa mata terhadap pekerja radiasi.

Dalam workshop tersebut, PTKMR-BATAN selaku LDTN menyatakan bahwa PTKMR sebagai salah satu pihak yang sangat terkait dan akan membantu mensukseskan pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi. Dalam rangka mendukung tujuan tersebut, BATAN mempunyai 5 (lima) tujuan strategis, yang salah satunya melakukan pembinaan Laboratorium Dosimetri untuk memberikan perlindungan terhadap pekerja radiasi. Sebagai LDTN, PTKMR-BATAN dalam hal ini mempunyai tanggung jawab membina dan memberikan bimbingan teknis kepada LDSS dan LDST, mengembangkan prosedur dan metode evaluasi peralatan pemantau dosis perorangan, menyelenggarakan pelatihan dalam bidang evaluasi peralatan pemantau dosis perorangan [5]. PTKMR mulai tahun 2016 sudah mempunyai program internal yaitu memperkenalkan metode evaluasi dosis lensa mata kepada LDST, melakukan kegiatan uji banding Hp (3) dan mempunyai target program yaitu memperoleh akreditasi dari Komite Akreditasi Nasional (KAN) untuk lingkup evaluasi Hp (3) untuk dosimeter lensa mata.

Sedangkan KEMENKES dalam hal ini Direktorat Fasilitas Pelayanan Kesehatan selaku pembina pelayanan kesehatan di bawah nya, baik laboratorium dosimteri (BPFK dan LPFK) maupun fasilitas kesehatan (rumah sakit dan klinik) mempunyai komitmen untuk mengembangkan laboratorium dosimetri untuk keperluan evaluasi dosis lensa mata dengan mempersiapkan SDM yang berkompeten, metode/prosedur yang tertelusur dan pengadaan peralatan yang terkini dan terkalibrasi. Selain itu KEMENKES juga akan mengingatkan kembali bahwa terdapat kewajiban bagi fasilitas kesehatan untuk menyediakan sarana dan prasarana untuk melindungi pekerja, dalam hal ini adalah wajib menyediakan dosimeter perorangan untuk pemantauan lensa mata pekerja radiasi yang mempunyai risiko mendapatkan dosis yang tinggi untuk lensa mata [10].

Komitmen yang dihasilkan dari workshop tersebut menjadi dasar untuk menyusun strategi dalam menjawab tantangan yang dihadapi, terkait tantangan pertama yaitu kesiapan infrastruktur Laboratorium Dosimetri, strategi yang dilakukan adalah KEMENKES dibantu oleh PTKMR-BATAN selaku LDTN dan LDSS yang mempunyai tanggung jawab memberikan bimbingan kepada LDST (BPFK dan LPFK dibawah KEMENKES) bersama-sama membangun SDM yang kompeten, menyusun metode/prosedur yang tertelusur dan pemilihan peralatan yang standar. Program ini lebih mudah dilaksanakan karena BATAN dan KEMENKES sudah mempunyai nota kesepahaman (MOU), maka dengan adanya MOU tersebut diharapkan akan menggiatkan komisi kerjasama antara BATAN dan KEMENKES dalam menjalankan program-program untuk mendukung strategi penyelesaian tantangan pertama dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata.

Selain itu, informasi terkini yang didapat dari workshop tersebut menyatakan bahwa seluruh laboratorium dosimetri telah memiliki program untuk melaksanakan evaluasi dosis lensa mata yaitu pembinaan SDM-nya, pengembangan metode/prosedur

yang tertelusur dalam mengevaluasi dosimeter lensa mata, dan pengadaan peralatan terkini dan terkalibrasi yang ketiga hal tersebut merupakan persyaratan untuk penambahan ruang lingkup evaluasi untuk diajukan kepada Komite Akreditasi Nasional (KAN) atau BAPETEN. Dengan demikian, kesiapan infrastruktur laboratorium dosimetri untuk dapat melakukan evaluasi dosimeter lensa mata harus dilakukan secara aktif dengan mempersiapkan 3 (hal) di atas oleh semua pihak terkait seperti PTKMR dan Laboratorium dosimetri lainnya untuk menambah ruang lingkup evaluasi. dengan mengajukan permohonan penunjukan laboratorium dosimetri kepada BAPETEN atau langsung mengajukan kepada KAN untuk akreditasi dengan ruang lingkup evaluasi Hp(3). BAPETEN dalam hal ini tentu saja mendorong percepatan penunjukan dengan melakukan sosialisasi terkait penambahan ruang lingkup evaluasi Hp (3) untuk dosimeter lensa mata dan akan mengirimkan surat kepada laboratorium dosimetri untuk melakukan permohonan penunjukan ke BAPETEN sesegera mungkin serta menyediakan semua ketentuan terkait persyaratan penunjukan yang tercakup dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna [11].

Terkait dengan tantangan ke dua yaitu keterbatasan kemampuan Pemegang Izin dalam mengadakan dosimeter perorangan sehingga memerlukan ketentuan dari BAPETEN terkait pekerja radiasi yang wajib melakukan pemantauan terhadap dosis lensa mata. Apabila disesuaikan dengan referensi yang menyatakan bahwa pekerja radiasi yang wajib melakukan pemantauan dosis lensa mata adalah Radiologi dan kardiologi intervensional, Fluoroskopi intervensional, Brachiterapi manual, CT Intervensial, Penyiapan sumber terbuka/ radiofarmaka untuk PET/CT dan Produksi radioisotop (cyclotron) [7], maka akan kesulitan dalam penyediaan dosimeter perorangan untuk lensa mata dikarenakan beberapa pertimbangan yaitu kemampuan Pemegang Izin dalam penyediaan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata, ketersediaan dosimeter lensa mata itu sendiri di lapangan, dan keterbatasan laboratorium dosimetri dalam melakukan evaluasi dosis lensa mata. Untuk itu dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi dibutuhkan pendekatan bertingkat. Pendekatan bertingkat yang dimaksud adalah untuk pemberlakuan awal, BAPETEN mewajibkan penggunaan peralatan pemantauan dosimeter perorangan untuk lensa mata bagi pekerja radiasi yang bekerja di fasilitas radiologi intervensional yang peralatannya sebagaimana tercakup dalam Pasal 3 ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011. Pekerja radiasi yang terlibat langsung dalam tindakan radiologi intervensional adalah dokter spesialis kardiologi (DSK), dokter spesialis radiologi (DSR), radiografer, dan perawat intervensional.

Pendekatan tersebut didasarkan kepada hasil kajian yang dilakukan oleh BAPETEN pada tahun 2006 dan 2013 terkait dengan perkiraan dosis lensa mata yang diterima oleh pekerja radiasi di fasilitas intervensional. Pada kajian tersebut dosimeter yang di gunakan adalah TLD Chips dengan posisi pemasangan TLD pada daerah tiroid di luar pelindung Pb, yang berguna untuk

memantau dosis tiroid dan lensa mata, metode tersebut berdasarkan EU, RP 119 MARTIR 2002 [12]. Pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat perkiraan dosis ekivalen lensa mata yang diterima oleh personil yang melakukan tindakan radiologi intervensional.

**Tabel 1.** Perkiraan dosis ekivalen lensa mata per tindakan (mSv) dari hasil kajian tahun 2006 [3].

	Dosis ekivalen (mSv/tindakan)				
	DSK	DSR	Perawat	Radiografer	Pekerja lain
<i>Rentang</i>	0.06–0.40	0.07–0.51	0.05–0.30	0.10–0.17	0.11–0.22
<i>Rata-rata</i>	<b>0.20</b>	<b>0.23</b>	<b>0.15</b>	<b>0.14</b>	<b>0.16</b>
<i>stdev</i>	0.09	0.16	0.06	0.03	0.08

catatan:

DSK=Dokter Spesialis kardiologi, DSR=Dokter Spesialis Radiologi

**Tabel 2.** Perkiraan dosis ekivalen lensa mata per tindakan (mSv) dari hasil kajian tahun 2013 [4].

	DSR	DSK	Reside n DSR	Reside n DSK	Perawat	Radiografer
<i>n</i>	3	15	7	13	21	3
<i>min</i>	0.00	0.00	0.004	0.001	0.002	0.007
<i>max</i>	0.29	0.09	0.063	0.331	0.876	0.073
<i>rata-rata</i>	<b>0.10</b>	<b>0.03</b>	<b>0.029</b>	<b>0.061</b>	<b>0.083</b>	<b>0.042</b>
<i>media</i>	0.03	0.02	0.026	0.019	0.025	0.047
<i>n</i>	0	6	0.15	0.03		
<i>stdev</i>	9	1	0.018	0.089	0.196	0.033
<i>Q3</i>	0.16	0.05	0.033	0.081	0.041	0.060

catatan:

DSK=Dokter Spesialis kardiologi, DSR=Dokter Spesialis Radiologi

Dari Tabel 1 dan Tabel 2, dapat diperkirakan dosis ekivalen lensa mata (mSv) yang diterima oleh DSR dan DSK yang bekerja di radiologi intervensional dalam satu tahun dengan asumsi beban kerja DSR /DSK yang bervariasi mulai dari 50 – 1041 tindakan/tahun (hasil survey) akan melebihi NBD yang sudah ditentukan. Lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3** Perkiraan dosis lensa mata dalam satu tahun

Pekerja	Dosis Rerata (mSv/Tindakan)	Dosis Median (mSv/Tindakan)	Dosis Lensa Mata rerata (mSv/Tahun)
<b>Hasil kajian tahun 2006</b>			

Pekerja	Dosis Rerata (mSv/Tindakan)	Dosis Median (mSv/Tindakan)	Dosis Lensa Mata rerata (mSv/Tahun)
DSR	0.23	-	11.5 – 239.43
DSK	0.20	-	10 – 208.2
<b>Hasil kajian tahun 2013</b>			
DSR	0.109	0.026	5,45 – 113,47
DSK	0.037	0.030	1,85 – 38,52

Perkiraan dosis ekivalen rata-rata lensa mata per tindakan paling besar didapat oleh DSR sebesar 0,23 (kajian tahun 2006) dan 0,109 mSv (kajian tahun 2013), dengan beban kerja DSR mulai dari 50 – 1041 tindakan/tahun, maka perkiraan dosis ekivalen lensa mata yang diterima oleh DSR pada kajian tahun 2006 adalah 11.5 – 239.43 mSv dan pada kajian tahun 2013 adalah 5,45 - 113,47 mSv per tahun, yang tentunya melebihi NBD yang ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 [1].

Berdasarkan hasil kajian tersebut, maka pendekatan bertingkat dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata pada tahap awal adalah untuk pekerja radiasi yang terlibat langsung dalam tindakan di fasilitas radiologi intervensional dengan peralatan sebagaimana disebutkan dalam Pasal 3 ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011. Sedangkan pekerja radiasi yang wajib diberlakukan pemantauan dosis lensa mata adalah DSK, DSR, radiografer, dan perawat intervensional.

Selain itu BAPETEN bekerjasama dengan KEMENKES melakukan sosialisasi kepada Pemegang Izin untuk pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata, memberikan informasi terkait pekerja radiasi yang diwajibkan untuk dilakukan pemantauan dosis lensa mata, disamping itu juga perlu diberikan kesadaran terhadap kepatuhan pekerja terkait untuk menggunakan peralatan pemantauan dosis lensa mata.

Dengan demikian BAPETEN harus selalu melakukan koordinasi dengan pihak terkait dalam menyelesaikan tantangan-tantangan dan melaksanakan strategi penyelesaiannya sehingga pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi dilaksanakan secara baik.

#### IV. KESIMPULAN

Dengan adanya penurunan NBD pekerja radiasi untuk dosis ekivalen lensa mata yang semula 150 mSv dalam 1 tahun menjadi sama dengan NBD seluruh tubuh yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, Pasal 15 huruf c, maka dianggap penting untuk melakukan pemantauan dosis lensa mata terhadap pekerja radiasi. Tantangan pertama yaitu kesiapan infrastruktur laboratorium

dosimetri untuk melakukan evaluasi dosis lensa mata masih dalam proses, baik proses mempersiapkan SDM yang kompeten, metode/prosedur yang tertelusur dan juga peralatan terkini dan terkalibrasi dan tantangan yang ke dua adalah keterbatasan kemampuan Pemegang Izin dalam menyediakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata sehingga memerlukan ketetapan dari BAPETEN terkait pekerja radiasi yang harus melakukan pemantauan terhadap dosis lensa mata.

Strategi penyelesaian terkait tantangan pertama adalah membangun infrastruktur sarana dan prasarana yang melibatkan seluruh pihak terkait yaitu PTKMR-BATAN selaku LDTN yang mempunyai salah satu tugas membina dan memberikan bimbingan teknis kepada LDSS dan LDST dalam hal ini PPIKSN, BPFK, dan LPFK dan KEMENKES dalam hal ini sebagai pembina laboratorium dosimetri eksternal dan fasilitas pelayanan kesehatan serta perlunya peran BAPETEN dalam mendorong percepatan penunjukan laboratorium dosimetri untuk evaluasi Hp (3).

Strategi penyelesaian terkait tantangan ke dua adalah, BAPETEN melakukan pendekatan bertingkat dengan memulai untuk Pekerja radiasi yang bekerja di fasilitas radiologi intervensional dengan peralatan yang disebutkan dalam Pasal 3 ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 dengan pekerja radiasi yang wajib menggunakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata adalah dokter spesialis kardiologi (DSK), dokter spesialis radiologi (DSR), radiografer, dan perawat intervensional. Selain itu BAPETEN juga melakukan sosialisasi kepada pemegang izin untuk menumbuhkan kesadaran pekerja radiasi untuk pentingnya menggunakan dosimeter perorangan untuk pemantauan dosis lensa mata.

Dengan demikian BAPETEN harus selalu melakukan koordinasi dengan pihak terkait dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih atas kerja keras teman-teman yang ada di Bidang Pengkajian Kesehatan-P2STPFRZR yang telah melakukan kajian sehingga dapat dijadikan dasar dalam pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata ini, PTKMR-BATAN dan KEMENKES serta internal BAPETEN yang telah berkomitmen untuk mendukung pemberlakuan pemantauan dosis lensa mata untuk pekerja radiasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), (2013), *“Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir”*, Peraturan Kepala BAPETEN No.4 Tahun 2013.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), (2011), *“Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial”*, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011.
- [3] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR) BAPETEN (2006), Laporan Hasil kajian (LHK) *“Pengkajian Sistem Pengawasan*

*tentang Proteksi Radiasi di Fasilitas Radiologi Intervensional*".

- [4] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR) BAPETEN (2013), Laporan Hasil Kajian (LHK) "*Pengawasan Paparan Pekerja di Fasilitas Radiologi Intervensional*".
- [5] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR)-BAPETEN, (2014), Laporan Hasil Kajian (LHK), "*Pengawasan Pelayanan Dosimetri Eksternal Perorangan Berbasis IAEA BSS: lens dose, deep dose & skin dose*".
- [6] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), (2006) "*Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi dan Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standardisasi Radionuklida*", Peraturan Kepala BAPETEN No. 1, Tahun 2006.
- [7] Ishak, Titik Kartika, 2013, "*Pengembangan Pengawasan Proteksi dan Keselamatan Radiasi terhadap Lensa Mata Personil Radiologi Intervensional*", *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir Tahun 2013*.
- [8] IAEA, (2011), "*Radiation Protection and Safety of Radiation Sources International Basic Safety Standards*", Safety standard Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna.
- [9] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2013), TecDoc 1731 "*Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye*", IAEA.
- [10] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR) BAPETEN, (2016), "*Laporan Penyelenggaraan Workshop Persiapan Laboratorium Dosimetri Eksternal untuk Melaksanakan Evaluasi Dosis Lensa Mata*".
- [11] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), (2015), "*Laboratorium Dosimetri Eksterna*", Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 tahun 2015.
- [12] European Commission, (2002), "*MARTIR (Multimedia and Audiovisual Radiation Protection Training in Interventional Radiology)*", CD-ROM, Radiation Protection 119, European Commission Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. Luxembourg



## **PENETAPAN PEMBATA DOSIS DAN PERANANNYA DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI BAGI PEKERJA RADIASI DI FASILITAS KEDOKTERAN NUKLIR**

**Endang Kunarsih<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif -BAPETEN*  
e-mail: e.kunarsih@bapeten.go.id

### **ABSTRAK**

Pembatas dosis merupakan nilai dosis individual yang digunakan untuk membatasi pilihan tindakan yang dapat dipertimbangkan dalam proses mengoptimalkan proteksi radiasi di suatu fasilitas. Dalam sudut pandang paparan kerja, pembatas dosis yang ditetapkan untuk tahap operasi dapat diartikan sebagai level yang dijadikan penanda besarnya dosis yang umumnya diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pada kondisi operasional normal. Survey di beberapa fasilitas kesehatan menunjukkan belum adanya kesadaran akan pentingnya penetapan pembatas dosis di fasilitasnya. Dalam makalah ini dilakukan telaah mengenai penetapan pembatas dosis dan peranannya dalam upaya optimisasi proteksi radiasi bagi pekerja radiasi di fasilitas kesehatan yang menggunakan radiasi pengion. Sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan adalah data dosis tahunan yang diterima oleh pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir pada kurun waktu 4 (empat) tahun terakhir. Diperoleh bahwa pembatas dosis dapat dengan praktis diterapkan untuk memantau implementasi optimisasi proteksi radiasi dengan menggunakan 75% dari sebaran data sebagai nilainya.

**Kata kunci:** pembatas dosis, optimisasi, proteksi radiasi

### **ABSTRACT**

*Dose constraint is an individual doses used to constraint the choice of actions that can be considered in the process of optimizing radiation protection at a facility. In the field of occupational exposure, dose constraint established for the operation stage may be interpreted as an indicating dose level that is generally obtained by radiation workers at a facility under normal operational conditions. Surveys at several medical facilities indicate the lack of awareness of the importance of dose constraint in the facility. This paper examines the determination of dose constraint and its role in optimizing radiation protection for radiation workers at medical facilities using ionizing radiation. Samples of dose data used as case samples for discussion are annual dose data received by radiation workers at nuclear medicine facilities in the last 4 (four) years. It is found that dose constraint can be practically applied to monitor the implementation of optimization of radiation protection by using 75% of the distribution as its value.*

**Keywords:** dose constraint, optimization, radiation protection

## **I. PENDAHULUAN**

Optimisasi proteksi radiasi dalam bidang kesehatan diterapkan berdasarkan pada jenis paparan radiasi yang terlibat, yaitu paparan kerja, paparan medik, dan paparan publik. Optimisasi terhadap paparan medik dikembangkan melalui penetapan tingkat panduan untuk paparan medik, sedangkan optimisasi terhadap paparan kerja dan publik dikembangkan melalui penetapan pembatas dosis.

Untuk mendorong penerapan optimisasi tersebut, BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir yang mewajibkan pemegang izin untuk menerapkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Pada Pasal 41 dan Pasal 43 ayat (1) dan ayat (2), diuraikan bahwa penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi salah satunya dapat dilaksanakan melalui penetapan pembatas dosis untuk pekerja radiasi. Pembatas dosis

ditetapkan oleh Pemegang Izin pada tahap konstruksi dan/atau tahap operasi dan dekomisioning.

Pembatas dosis untuk tahap konstruksi/desain telah ditetapkan BAPETEN yaitu sebesar  $\frac{1}{2}$  (satu per dua) dari Nilai Batas Dosis (NBD) pekerja radiasi yaitu 10 mSv/tahun sebagaimana tertuang dalam Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012 [2] tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir Pasal 47 ayat 3, Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 [3] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi Pasal 41 Ayat 2, dan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 [3] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional Pasal 37. Penetapan pembatas dosis pada tahap konstruksi bertujuan untuk menekan potensi paparan radiasi atau kontaminasi melalui desain yang baik, sertifikasi produk atau peralatan. Namun demikian, pembatas dosis untuk tahap operasi harus ditetapkan sendiri oleh masing-

masing fasilitas sebagai upaya penerapan prinsip optimisasi proteksi radiasi di fasilitasnya.

Berdasarkan hasil survey di beberapa fasilitas kesehatan pada tahun 2015 [11], 2016 [12] dan 2017 ditemukan bahwa sebagian besar fasilitas kesehatan belum menentukan dan menerapkan konsep pembatas dosis bagi pekerja radiasi pada tahap operasi. Sebagai dugaan awal, penyebabnya antara lain tingkat kesadaran akan pentingnya peran pembatas dosis dalam upaya optimisasi proteksi radiasi dan pemahaman metode penentuan pembatas dosis masih belum memadai.

Dengan demikian dalam makalah ini akan diuraikan konsep pembatas dosis dan bagaimana peranannya dalam upaya optimisasi proteksi radiasi bagi pekerja radiasi di fasilitas kesehatan serta usulan metode penetapan pembatas dosis.

## II. LANDASAN TEORI

### a) Manajemen dosis bagi pekerja radiasi [5]

Sebagaimana diuraikan dalam GSR Part 3, terdapat 3 (tiga) situasi paparan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir yaitu paparan terencana, paparan darurat dan paparan *existing*.

- Paparan terencana (*planned exposure*) adalah paparan yang berasal dari kegiatan yang terencana yang menggunakan sumber radiasi pengion. Pengendalian paparan dalam situasi ini adalah dengan penggunaan desain fasilitas yang baik (*good design of facilities*), penggunaan peralatan yang memadai dan penggunaan prosedur pengoperasian yang tepat serta pengadaan pelatihan bagi pekerja radiasi.
- Paparan darurat (*emergency exposure*) adalah paparan yang berasal dari kecelakaan, tindakan yang tidak bertanggungjawab atau kejadian yang tidak diharapkan, yang memerlukan tindakan segera untuk mengurangi konsekuensinya. Pengendalian paparan pada situasi ini adalah melalui penetapan tindakan protektif dan mitigasi.
- Paparan *existing* (*existing exposure*) adalah paparan yang telah ada ketika akan dilakukan pengendalian, misalnya berasal dari radiasi latar alamiah dan zat radioaktif sisa.

Manajemen dosis bagi pekerja radiasi hendaknya diutamakan berbasis pada situasi paparan terencana. Berdasarkan data jumlah pekerja radiasi, jumlah jam kerja, jumlah beban kerja, manajemen fasilitas kesehatan melalui Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dapat menyusun perencanaan kegiatan dengan mempertimbangkan aspek proteksi dan keselamatan radiasi. Manajemen menetapkan penugasan berdasarkan usulan PPR terkait aspek proteksi dan keselamatan radiasi. Selama penugasan pekerja radiasi, PPR melakukan pemantauan dosis pekerja radiasi dan secara berkala melakukan evaluasi. PPR melaporkan hasil evaluasi dosis ke manajemen fasilitas kesehatan sebagai umpan balik dari perencanaan kegiatan di masa mendatang.

### b) Konsep pembatas dosis [6, 7, 8, 9]

Sesuai dengan prinsip ALARA (*as low as reasonably achievable*), International Commission on

Radiological Protection (ICRP) merekomendasikan penggunaan pembatas dosis untuk membantu perencanaan program proteksi radiasi secara optimal dalam situasi paparan yang telah direncanakan. Selain itu pembatas dosis menjadi salah satu parameter tingkat optimisasi bagi pekerja radiasi dalam melaksanakan tugasnya, sehingga nilainya sangat mungkin berbeda antar jenis pekerja radiasi satu dengan yang lainnya.

Tujuan utama pembatas dosis adalah untuk membatasi dosis individual pekerja radiasi yang berasal dari sebuah sumber radiasi pengion, kegiatan atau tugas tertentu dengan mempertimbangkan proses optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap sumber, kegiatan atau tugas tersebut. Penggunaan pembatas dosis ini bersifat prospektif, yang diterapkan dalam perencanaan proteksi di seluruh situasi yang mana aspek optimisasi proteksi radiasi dipertimbangkan (misalnya dalam desain atau modifikasi fasilitas, persiapan operasional dan lainnya).

Sebagaimana disebutkan dalam tujuan utama pembatas dosis di atas, penentuan nilai numerik pembatas dosis membutuhkan pengetahuan, pengalaman dan pertimbangan yang matang terkait penggunaan sumber radiasi dalam situasi paparan tertentu yang direncanakan atau penggunaan seperangkat sumber yang serupa (pembatas dosis umum) dalam fasilitas tersebut. Nilai pembatas dosis ini dapat dinyatakan sebagai dosis tunggal atau dosis akumulasi dalam periode tertentu.

Dalam konteks paparan kerja, pembatas dosis bukanlah nilai batas dosis (NBD), melainkan merupakan nilai dosis individual yang digunakan untuk membatasi pilihan tindakan yang dipertimbangkan dalam proses mengoptimalkan proteksi radiasi. Pembatas dosis dapat diartikan sebagai tingkat dosis yang dijadikan acuan besarnya dosis yang umumnya diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pada kondisi operasional normal, dengan mempertimbangkan penerapan proteksi dan keselamatan radiasi. Nilai pembatas dosis tidak boleh melampaui NBD yang telah ditetapkan BAPETEN [1]. Perbedaan mendasar antara pembatas dosis dengan NBD diilustrasikan pada Gambar 1.

Gambar 1 mendeskripsikan posisi pembatas dosis sebagai margin optimisasi yang nilainya lebih kecil dari nilai batas dosis tahunan yang merepresentasikan margin limitasi.



Gambar 1. Perbedaan pembatas dosis dengan NBD.

### III. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam telaah ini adalah studi pustaka, survey di fasilitas kedokteran nuklir, wawancara dan analisis statistik data sekunder.

Dalam makalah ini diusulkan metode penentuan pembatas dosis dengan melalui pendekatan konservatif yaitu penentuan nilai kuartil ke-3 dari sebaran data dosis tahunan pekerja radiasi. Sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan adalah data dosis tahunan yang diterima oleh pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir pada kurun waktu 4 (empat) tahun terakhir (yaitu tahun 2013, 2014, 2015 dan 2016). Data ini diperoleh pada saat survey kajian ke salah satu fasilitas kedokteran nuklir pada tanggal 3 Mei 2017. Data dosis yang digunakan adalah dosis yang diterima pada kondisi operasional normal. Dosis yang diterima pekerja ketika terjadi insiden (sedemikian hingga dosis yang diterima menjadi tinggi) tidak dapat digunakan untuk proses penentuan ini.

Sebagai langkah awal, data dikelompokkan berdasarkan kategori profesi pekerja. Data yang telah terkumpul selanjutnya dilakukan pengolahan berupa penentuan nilai kuartil ke-3 atau nilai batas 75% dari sebaran dosis yang diterima oleh pekerja radiasi, dengan asumsi sebaran data tersebut berupa sebaran normal (Gaussian).

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dan hasil perhitungan nilai maksimum dosis tahunan, nilai rerata dosis tahunan, dan nilai kuartil ke-3 dosis tahunan untuk untuk masing – masing profesi disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1.** Data dosis tahunan pekerja radiasi.

Profesi	Data dosis tahunan (mSv)				Dosis tahunan max (mSv)	Dosis tahunan rerata (mSv)	Dosis pada Q3 (mSv)
	2013	2014	2015	2016			
1	2	3	4	5	6	7	8
Dokter SpKN	0.24	0.37	0.09	0.39	0.39	0.27	0.38
Fisikawan medis	1.86	0.23	0.42	0.69	1.86	0.80	0.98
Radiofarmasis	2.65	1.34	1.47	2.57	2.65	2.01	2.59
Radiografer	2.08	1.31	1.49	1.73	2.08	1.65	1.82
Perawat	3.46	1.41	1.60	2.77	3.46	2.31	2.95
Analisis kesehatan	2.33	0.94	0.73	1.55	2.33	1.39	1.75
Profesi lain	0.64	0.53	0.39	0.45	0.64	0.50	0.56

Catatan:

- Data dosis tahunan tidak memperhitungkan dosis interna.
- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD

Pengelompokan data berdasarkan kategori profesi dilakukan karena setiap profesi memiliki tugas yang berbeda dalam kaitannya dengan sumber radiasi, sehingga akan mempengaruhi besarnya perolehan dosis masing-masing personel. Tugas dan kewajiban masing-masing personel kedokteran nuklir diatur dalam Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012 [2] Pasal 20 hingga Pasal 27. Sebagai catatan, khusus dalam makalah ini,

dosis yang diterima PPR tidak diikutsertakan dalam perhitungan karena di fasilitas responden tersebut personil yang berfungsi sebagai PPR kebetulan merangkap tugas sebagai fisikawan medis sehingga perolehan dosis radiasi yang paling banyak diterima oleh yang bersangkutan adalah berasal pada saat bertugas sebagai fisikawan medis.

Pada kolom 7 nampak bahwa rerata dosis tahunan yang diterima oleh radiofarmasis dan perawat kedokteran nuklir memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan profesi lainnya. Hal tersebut disebabkan karena kedua profesi tersebut memiliki tugas yang membutuhkan interaksi langsung dengan radioisotop/radiofarmaka, misalnya melakukan elusi dan preparasi radiofarmaka, melakukan uji kualitas radiofarmaka, dan melakukan pemberian radiofarmaka kepada pasien, sehingga potensi memperoleh paparan radiasi menjadi lebih besar dibandingkan profesi yang lainnya.

Pada kolom 8 merupakan hasil perhitungan nilai kuartil ke-3 (Q3). Kuartil adalah suatu nilai data yang membagi empat sama banyak kumpulan data yang telah diurutkan. Untuk mencari posisi Q3 dapat menggunakan rumus:

$$n_{q3} = \frac{3(n+1)}{4} \quad (\text{persm. 1})$$

Sedangkan nilai Q3 dihitung menggunakan rumus:

$$X_{q3} = X_{a,3} + \frac{1}{4} (X_{b,3} - X_{a,3}) \quad (\text{persm. 2})$$

dengan

- $n_{q3}$  = posisi kuartil ke-3
- $n$  = banyaknya data
- $X_{q3}$  = nilai kuartil ke-3
- $X_{a,3}$  = pengamatan sebelum posisi kuartil ke-3
- $X_{b,3}$  = pengamatan setelah posisi kuartil ke-3

Nilai Q3 inilah yang dapat diusulkan menjadi nilai pembatas dosis.

Pada kolom 6 merupakan nilai dosis maksimum yang pernah diperoleh pada kurun waktu 4 (empat) tahun tersebut. Berdasarkan dosis maksimum yang tercatat tersebut, dapat dihitung selisih antara dosis maksimum dan nilai Q3 yang diperoleh. Selisih yang terbesar diperoleh pada profesi analisis kesehatan.

Berdasarkan pengamatan pada data tabel di atas dapat ditarik pemahaman bahwa dengan ditetapkannya nilai Q3 (atau pada 75%) dari sebaran data dosis sebagai pembatas dosis, maka hal tersebut dapat menjadi indikator bahwa dosis yang besarnya di atas Q3 harus menjalani langkah-langkah sebagai upaya mengoptimalkan proteksi radiasi sehingga diharapkan dosis tersebut dapat turun nilainya menjadi di bawah atau sama dengan pembatas dosis yang telah ditetapkan. Sebagaimana direkomendasikan dalam ICRP 103 [10] bahwa apabila terdapat pekerja yang mendapatkan dosis melebihi dari pembatas dosis, penanggungjawab fasilitas harus menginvestigasi untuk menentukan akar penyebab dan selanjutnya mengambil langkah tindak lanjut guna memperbaiki optimisasi proteksi radiasi. Pemantauan lebih ketat

tentu perlu diberikan kepada bagian yang memperoleh selisih terbesar antara dosis maksimum dan nilai Q3.

Setelah fasilitas menetapkan nilai numerik pembatas dosis, maka penerapan pembatas dosis harus dipantau secara rutin atau berkala. Pemantauan dilakukan melalui evaluasi terhadap rekaman data dosis yang diterima oleh pekerja radiasi ditahun berikutnya. Dalam hal penetapan pembatas dosis di fasilitas kedokteran nuklir, diusulkan untuk mempertimbangkan juga perolehan dosis interna, karena kegiatan kedokteran nuklir memiliki potensi tinggi terjadinya kontaminasi internal terhadap pekerja radiasi.

Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa dosis pekerja tidak berpotensi melampaui pembatas dosis yang telah ditetapkan maka dapat dipertimbangkan untuk menurunkan besarnya nilai pembatas dosis. Sebaliknya, apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa data dosis pekerja berpotensi melebihi pembatas dosis yang telah ditetapkan maka perlu dilakukan reuiu. Reuiu tersebut dapat meliputi antara lain, namun tidak terbatas pada, aspek personil dan peralatan serta manajemen, misalnya:

- Kemampuan dan kesadaran personil dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi di bidang kerja yang menjadi tugasnya.
- Kemampuan personil dalam melakukan pekerjaan sesuai dengan standar/prosedur operasional.
- Desain beban kerja personil, yang terkait dengan jumlah jam kerja, jumlah pasien yang ditangani, jumlah kegiatan yang dilakukan.
- Kinerja peralatan utama dan peralatan pendukung, yang terkait dengan pemeliharaan dan perawatan alat.
- Adanya insiden atau kecelakaan yang terjadi selama periode pemantauan

Tindak lanjut yang dapat dilakukan sebagai upaya untuk memperbaiki optimisasi penerapan proteksi radiasi antara lain melalui:

- peningkatan pelatihan personil,
- peningkatan ketersediaan personil,
- perbaikan metode/prosedur operasional,
- pengendalian mutu peralatan,
- peningkatan perlengkapan proteksi radiasi,
- pengaturan jadwal kerja personil, dan lainnya.

Pembatas dosis ini bersifat dinamis, pada setiap periode evaluasi dan reuiu sangat dimungkinkan akan dihasilkan pembatas dosis baru yang lebih rendah dari pembatas dosis sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa upaya optimisasi di fasilitas tersebut dapat berjalan dengan baik guna mewujudkan tujuan utamanya yaitu mengurangi dosis yang diterima pekerja radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai (sesuai prinsip ALARA) tanpa mengurangi kualitas kinerja di bidang kerja yang ditugaskan.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pembatas dosis merupakan *tool* yang baik dan praktis untuk memantau optimisasi penerapan proteksi radiasi di fasilitas kesehatan yang menggunakan radiasi pengion.

2. Pembatas dosis dapat ditetapkan melalui penentuan nilai kuartil ke-3 atau nilai batas pada 75% dari sebaran data dosis pekerja radiasi pada periode waktu tertentu.
3. Dengan ditetapkannya pembatas dosis maka fasilitas dapat mudah melakukan upaya-upaya guna mengendalikan penerimaan dosis bagi pekerja radiasi seminimal mungkin yang dapat dicapai.
4. Pembatas dosis merupakan nilai yang bersifat prospektif sehingga menuntut adanya pemantauan secara berkala terhadap rekaman dosis dan dilakukannya reuiu dan evaluasi untuk menentukan tindak lanjut langkah peningkatan optimisasi penerapan proteksi radiasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

- Tim Pengkaji bidang kesehatan di P2STPFRZR yang telah berkontribusi dalam survey tahun 2017 guna memperoleh data, dan
- Rumah Sakit sebagai responden survey data dosis pekerja radiasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, Indonesia.
- [2] BAPETEN (2012), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir.
- [3] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi
- [4] BAPETEN (2011), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [5] IAEA (2011), Safety Standards Series, GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna, Austria.
- [6] PCRPPH-NEA (2011), Dose constraints – Dose Constraints in Optimization of Occupational Radiation Protection and Implementation of the Dose Constraint Concept into Radiation Protection Regulations and Its Use in Operator's Practices, Paris.
- [7] IAEA (1999), Safety Standard Series, RS-G-1.1, Occupational Radiation Protection, Vienna, Austria.
- [8] IAEA (2014), Tecdoc-1735, The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology, Vienna, Austria.
- [9] Fennel, Stephen (2011), Survey On The Use Of Dose Constraints And Reference Levels Made In The Context Of The European ALARA Network. ICRP Symposium on the International System of Radilological Protection

- [10] ICRP (2007), Publication 103 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press.
- [11] BAPETEN (2015), LT/STI/KN01/P2STPFRZR 1/066/2015, Laporan Hasil Kajian tentang Pembatas Dosis (Dose Constraint) Untuk Petugas Bidang Kesehatan – 2015
- [1] BAPETEN (2016), LT/STI/KN01/P2STPFRZR 1/079/2016, Laporan Hasil Kajian tentang Pembatas Dosis (Dose Constraint) Untuk Petugas Bidang Kesehatan – 2016



## OPTIMISASI PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PADA RADIOLOGI ANAK

Leily Savitri<sup>1</sup>, Sunarya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Pengkajian Sistem Dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi Dan Zat Radioaktif

<sup>2</sup> Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi Dan Zat Radioaktif

Email: l.savitri@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi adalah merupakan salah satu persyaratan proteksi radiasi yang wajib dipenuhi oleh pemegang izin. Secara praktik, Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dapat dicapai melalui 7 (tujuh) aspek, yaitu, 1. Kompetensi dari pekerja radiasi, harus memiliki kompetensi lebih dalam hal psikologi anak, 2. Disain ruang radiologi anak, dibuat dengan memperhatikan kebutuhan akan psikologi anak agar mereka tidak merasa cemas atau takut dan merasa nyaman, sehingga dapat diajak komunikasi yang baik dan dapat bekerja sama, 3. Kemampuan memilih pesawat sinar-X dan perlengkapannya, ini sangatlah penting dalam menentukan teknik radiografi dan mengurangi dosis radiasi yang diterima oleh pasien anak, 4. Penggunaan peralatan protektif radiasi, memberikan nilai yang sangat signifikan dalam mengurangi dosis yang diterima oleh pasien anak, 5. Peralatan immobilisasi/fiksasi harus disediakan dan dipakai pada pemeriksaan radiologi anak untuk mencegah terjadinya pengulangan pemeriksaan akibat pergerakan, 6. Prosedur yang baik, harus dibuat secara komprehensif dengan memperhatikan cara berkomunikasi yang baik dan mencantumkan tahapan proses yang akan dilakukan, dan 7. Melakukan program jaminan mutu dan kendali mutu yang ketat sehingga tujuan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi tercapai, yaitu mendapatkan citra diagnostik yang baik dan dosis yang diterima oleh pasien anak adalah serendah mungkin.

**Kata kunci:** Optimisasi, Kompetensi, Desain, Pesawat Sinar-X, Peralatan Protektif Radiasi, Peralatan Immobilisasi, Prosedur, Jaminan Mutu dan Kendali Mutu

### ABSTRACT

*Optimization of radiation protection and safety is one of the requirements of radiation protection that must be obeyed by the licensee. In practice, Optimization of radiation protection and safety can be achieved through 7 (seven) aspects, that is, 1. Competence of radiographers, must have more competence in terms of child psychology, 2. Pediatric radiology room design, made with attention to the needs of child psychology, so that they do not worried or afraid and feel comfortable, so is easy to well communication and cooperation, 3. The selection of X-ray machine and tools, this is important in determining radiography techniques and reduce the dose of radiation received for pediatric patients, 4. Use of protective radiation device provides a very significant value in reducing the dose received by pediatric patients, 5. Immobilization/fixation equipment should be provided and used on the child's radiological examination to prevent retake of examination due to movement, 6. Good procedures, made comprehensively by taking into account how to well communicate and include the stages of the process to be taken, and 7. Perform a quality assurance program and strict quality control so that the goal of radiation protection and safety optimization is achieved, that is get a good diagnostic image and the dose received by pediatric patients is as low as possible.*

**Keywords:** Optimization, Competence, Design, X-ray Machine, Radiation Protection Equipment, Immobilization Equipment, Procedures, Quality Assurance and Quality Control

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Pasal 21 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Pemegang Izin dalam memanfaatkan tenaga nuklir wajib memenuhi salah satu persyaratan proteksi radiasi yaitu optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dalam paparan medik harus diupayakan agar pasien menerima dosis radiasi serendah mungkin sesuai dengan yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan diagnostik dengan mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi. Tujuan radiologi diagnostik adalah memperoleh citra

yang memadai yang memuat informasi diagnostik yang dibutuhkan oleh dokter dengan mengupayakan pasien menerima dosis serendah mungkin.

Salah satu penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dilaksanakan melalui tingkat panduan untuk paparan medik [Pasal 35 huruf (a), PP No. 33/2007].

Pada Pasal 39 ayat (1) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 menyatakan bahwa "Praktisi medik wajib menggunakan Tingkat Panduan Paparan Medik untuk mengoptimalkan proteksi terhadap pasien". Namun demikian, Tingkat Panduan Paparan Medik untuk mengoptimalkan proteksi radiasi

terhadap pasien anak belum diatur seperti Tingkat Paparan Medik untuk pasien dewasa yang sudah diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 08 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial.

Walaupun demikian pada praktiknya optimisasi proteksi dalam paparan medik diinterpretasikan sebagai upaya pembentukan pencitraan yang baik dan optimal dengan upaya penerimaan dosis yang serendah mungkin pada pasien anak dengan tetap menjaga kualitas citra agar memperoleh informasi diagnostik yang diperlukan [4]. Pencapaian paparan medik yang baik didapat melalui praktik (teknik radiografi) yang sesuai [4, 6].

Praktik Radiografi yang sesuai disini memiliki arti bahwa praktik radiografi tersebut haruslah memperhatikan setiap aspek yang mempengaruhi hasil citra dan terimaan dosis pada pasien anak, baik pada prosedur teknik radiografi maupun aspek lainnya seperti pada desain ruangan khusus untuk pasien anak, pemilihan pesawat sinar-X dan pelengkapan atau peralatan pendukung, komunikasi yang baik dan sebagainya.

Penulisan makalah ini merupakan hasil studi literatur yang akan memaparkan dan membahas data yang dapat dipakai untuk optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi yang dapat diterapkan secara praktik pada radiologi anak.

## II. POKOK BAHASAN

Berdasarkan Undang - Undang Nomor 23 Tahun 2002 Tentang Perlindungan Anak Pasal 1, yang dimaksud dengan seorang anak adalah seseorang yang belum berusia 18 (delapan belas) tahun, termasuk anak yang masih dalam kandungan. Umumnya, radiologi anak melayani pemeriksaan radiodiagnostik anak usia 0-15 tahun [7]. Secara fisik dan psikologi, anak-anak belum memiliki rasa percaya diri yang utuh dan belum mandiri, sehingga membutuhkan perlakuan khusus ataupun pendamping.

Pada usia anak di bawah 15 tahun, memiliki harapan hidup yang lebih panjang daripada orang dewasa terhadap akibat yang nyata dari radiasi berupa kanker, faktor resiko timbulnya kanker pada anak antara 2 sampai 3 kali lebih besar dari orang dewasa, karena jaringan tubuh pada anak lebih sensitif daripada orang dewasa. Resiko menerima efek kerusakan atau merugikan pada usia 0-10 tahun pertama kehidupan setelah terpapar radiasi pengion adalah 3 (tiga) sampai 4 (empat) kali dibandingkan pada usia 30-40 tahun, bahkan 7 (tujuh) kali lebih besar dibandingkan menerima paparan setelah usia 50 tahun [8]. Secara umum dosis radiasi yang akan diterima pasien anak lebih rendah dibandingkan orang dewasa, namun pada kondisi penyinaran yang sama, resiko penurunan kualitas jaringan pada anak- anak lebih tinggi dari orang dewasa.

Prinsip optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi berlaku untuk semua paparan medik. Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan informasi diagnostik yang diperlukan dengan dosis radiasi yang diterima serendah mungkin. Kunci sukses pelaksanaan

optimisasi adalah sikap yang menyatakan keterikatan pada semua tingkat organisasi, yang meliputi semua orang yang bertugas dalam pengaturan, pemantauan, pengelolaan dan pengoperasian peralatan dan fasilitas.

Pada radiologi anak, kendala yang sering dihadapi adalah anak tidak dapat bekerja sama pada pemeriksaan radiologi (saat mengatur posisi pada pemeriksaan), dan akibat adanya pergerakan sehingga citra yang dihasilkan tidak dapat memberikan informasi diagnostik yang baik, sehingga secara terpaksa terjadi pengulangan pemeriksaan radiologi.

Kedua kendala di atas dapat diminimalisir, jika personil baik dokter radiologi maupun radiografer mengerti psikologi anak dalam berkomunikasi dan desain ruangan radiologi disesuaikan dengan kebutuhan psikologi anak. Kemampuan maupun keterampilan dalam komunikasi sangat diperlukan untuk memberikan informasi yang lengkap apa yang akan dilakukan baik kepada anak sebagai pasien (jika sudah dapat berkomunikasi) maupun kepada pendamping atau orangtua.

Keluhan yang dilaporkan orangtua atau pendamping terkait komunikasi yang buruk dan perilaku yang tidak profesional mencapai angka 30% [12].

Kemampuan radiografer dalam pemilihan perlengkapan fiksasi dan proteksi juga sangatlah diperlukan. Radiografer harus dapat menilai apakah dibutuhkan pendamping atau cukup menggunakan alat fiksasi untuk menghindari pergerakan. Selain itu kompetensi radiografer dalam teknik radiografi juga menentukan untuk optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Radiografer dapat memposisikan pasien atau pendamping sedemikian rupa agar menerima dosis paparan serendah mungkin.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Radiografer harus memiliki kompetensi dalam teknik radiologi sehingga optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi tercapai. Sebagai contoh radiografer haruslah paham terkait peristiwa "*heel effect*" (efek tumit) pada peristiwa terbentuknya sinar-X di dalam tabung saat elektron menumbuk target. Pada efek tumit terdapat area (pada sisi di bawah anoda) yang kehilangan intensitas sinar-X [14], sehingga hal ini dapat dimanfaatkan untuk mengurangi paparan radiasi yang diterima oleh pasien anak maupun pendamping, dengan cara menempatkan bagian tubuh yang tidak diperiksa pada bagian dekat anoda.

Pada **disain ruangan** radiologi anak selain memperhatikan aspek proteksi radiasi (terkait tebal dinding ataupun perisai), haruslah dibuat secara khusus dengan memperhatikan pertumbuhan dan perkembangan psikologis anak.

Ruangan pemeriksaan juga harus cukup luas karena pertimbangan psikologis anak sehingga tidak akan menimbulkan rasa cemas dan takut. Interior ruangan didesain menarik sesuai dengan kejiwaan anak, adanya ruang tunggu yang menarik dan ramah bagi anak akan mendukung perasaan yang nyaman dan tentram, sehingga mudah saat diajak berkomunikasi dan bekerja sama.



**Gambar 1.** Tampak posisi radiografer sejajar dengan posisi anak dan pendamping (orang tua) saat melakukan komunikasi atau memberikan penjelasan [10].



**Gambar 2.** Ruang CT Scan dengan desain interior aquarium sehingga tampak menyenangkan bagi anak [Dok. RSAB Harapan Kita].



**Gambar 3.** Tampak pendamping atau orangtua dalam membantu posisi pemeriksaan dan juga sebagai fiksasi atau immobilisasi [10].

Sangatlah penting pekerja radiasi memperhatikan lingkungan kerja mereka dari sudut pandang pasien, dalam hal ini anak dan pendamping atau orangtua [10].

Menyediakan waktu untuk menjelaskan prosedur sangat penting dan jika mungkin, dilakukan di lingkungan yang netral seperti ruang tunggu, harus dijelaskan sedemikian rupa agar dapat dimengerti baik oleh orang dewasa maupun anak-anak, termasuk anak-anak pada usia 12 bulan [10]. Lihat contoh pada Gambar 1. dan Gambar 2.

Pemilihan **faktor eksposi** secara teknis juga wajib dikuasai oleh radiografer dengan memperhatikan ketebalan objek. Pada fluoroskopi radiologi anak memerlukan penurunan kVp sebanyak 25% [11]. Selain menurunkan faktor eksposi, juga menjaga jarak *image intensifier* seminimum mungkin guna membatasi radiasi yang berlebihan pada pasien anak [11].

Faktor **eksposi rendah** akan menurunkan informasi citra diagnostik dan akan mengakibatkan pengulangan pemeriksaan sehingga akan menambah paparan radiasi terhadap pasien. Faktor eksposi yang terlalu tinggi juga

meningkatkan dosis radiasi dan tampak hasil citra yang gelap sehingga dapat mengurangi kandungan informasi dari citra diagnostik yang diperlukan dokter. Secara umum, faktor-faktor teknis yang berpengaruh dalam pemeriksaan anak wajib dikuasai. Setiap pekerja radiasi yang melaksanakan pemeriksaan radiologi harus mencegah terjadinya pengulangan paparan [Pasal 39, Perka BAPETEN No. 8/2011].

*Commision of European Communities (CEC)* telah mengakui perlunya perlakuan khusus terhadap pasien pediatrik dan telah menerbitkan pedoman yang menyarankan contoh-contoh praktik radiografi baik dan kriteria gambar dengan tujuan menghasilkan kualitas citra yang tinggi dengan dosis serendah mungkin kepada pasien [4].

Pada hasil survei didapatkan data bahwa secara umum pemeriksaan thorax dilakukan dengan menggunakan tegangan tabung rendah yaitu di bawah 60 kVp. Hal ini dikarenakan banyak radiografer dan radiolog berpandangan bahwa pasien ukuran kecil (pediatrik) terutama pada kelompok usia muda, membutuhkan penggunaan tegangan tabung yang lebih rendah untuk meningkatkan kontras radiografi [4]. Tentu saja ini sangat disayangkan karena hanya mempertimbangkan pada hasil citra yang dihasilkan tetapi tidak mempertimbangkan dosis yang diterima oleh pasien anak.

Pada beberapa kasus khusus seperti pada pemeriksaan jaringan lunak atau daerah dengan densitas yang berdekatan, penggunaan tegangan tabung tinggi ini harus dihindari seperti dalam pemeriksaan thorax bayi baru lahir, radiografi tulang, dan penggunaan media kontras iodine karena akan menghilangkan kontras radiografi. Radiasi hambur dengan teknik tegangan tabung tinggi mempunyai daya tembus yang lebih tinggi, sehingga dosis untuk area tubuh di luar area berkas sinar-X mungkin lebih besar. Pada radiografi thorax, dosis ke gonad dapat meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan tabung, meskipun dosis sumsum tulang di daerah yang disinari akan berkurang.

Dosis permukaan kulit pada pemeriksaan thorax, akan lebih kecil pada tegangan tabung yang tinggi, sehingga peningkatan dosis serap akibat radiasi hambur tidak sebanyak seperti yang diperkirakan berdasarkan persentase relatif dosis [7].

Dalam pemeriksaan bayi dengan ukuran tubuh yang kecil terdapat sedikit radiasi hamburan. Oleh karena itu, diafragma *bucky* atau grid stasioner biasanya tidak diperlukan. Tidak menggunakan grid dapat mengurangi paparan radiasi hingga 3-6 kali lipat [15]. **Grid** dapat digunakan pada kebutuhan faktor eksposi yang tinggi saat pemeriksaan radiologi. Pada kondisi ini dapat dipakai grid bergerak dengan rasio 8 (40 garis/cm), atau menggunakan grid stasioner dengan kerapatan yang tinggi ( $\geq 60/cm$ ) pada kondisi waktu eksposur yang cepat ( $< 10ms$ ) [9].

Pada fasilitas **fluoroskopi anti scatter grid** harus didesain khusus untuk anak atau dapat bergerak dengan cepat dan dapat dilepas. Idealnya pada semua peralatan radiologi anak harus memiliki grid [9].

**Kaset** dengan grafit pada bagian depan, memiliki daya serap lebih rendah dibandingkan dengan bahan

konvensional. Bila digunakan dalam situasi kilovoltage rendah dan radiografi bagian-bagian kecil, seperti dada bayi, maka dapat mengurangi paparan radiasi pada pasien sebesar 25 % - 50% [7].

Perkembangan terbaru tentang bahan untuk kaset, grid, meja tulis dan pelat depan penukar film menggunakan serat karbon dan beberapa bahan plastik baru yang memungkinkan pengurangan dosis pasien secara signifikan. Pengurangan ini paling penting dalam rentang tegangan radiografi yang direkomendasikan pada pasien anak-anak dan bisa mencapai 40% [9].

Pada pemeriksaan radiografi, radiografer direkomendasikan menggunakan film dan *screen* dengan kecepatan tinggi (*high speed*) serta menggunakan film yang sensitif (*green sensitive*). Kombinasi *screen-film* kecepatan tinggi digunakan untuk mengurangi waktu penyinaran, resolusi yang berkurang tidaklah terlalu penting untuk kebanyakan (*majority*) indikasi klinis [5]. Pada pemeriksaan khusus, misalnya untuk detail tulang kecepatan 200 – 400 dapat digunakan [9].

Pada teknologi *Computed Radiography (CR)*, direkomendasikan mempunyai sensitifitas plate yang tinggi dan memori data yang besar sehingga dapat menyimpan data yang lebih banyak. Hufton dkk. membandingkan citra anak-anak dari sistem *screen-film* kecepatan 600 dengan citra CR pediatrik menurut kriteria Dewan Masyarakat Eropa (CEC) untuk melihat fitur klinis. Meskipun dosis CR sekitar 40% lebih rendah kecuali gambar dada yang hampir sama, tidak ada perbedaan yang signifikan pada skor kualitas gambar untuk reseptor yang berbeda [16].

Penggunaan *Automatic Exposure Control (AEC)* akan memperpanjang waktu pemaparan. Semua faktor ini harus dipertimbangkan saat AEC digunakan pada pasien anak-anak. Penggunaan AEC menghasilkan banyak pemeriksaan yang tidak memuaskan [9].

**Teknik kV tinggi** direkomendasikan untuk digunakan pada radiologi anak, karena kV rendah akan menghasilkan dosis pasien yang relatif lebih tinggi [9].

Penggunaan teknik tegangan tabung tinggi (**kV tinggi**) pada pemeriksaan radiologi *thorax* (dada) akan menghasilkan dosis yang lebih rendah kepada pasien, yaitu untuk anak usia 0 – 15 tahun mengurangi dosis hingga 16 - 36% [13].

Teknik kV tinggi ini dimaksudkan untuk mendapatkan waktu paparan sesingkat mungkin, sehingga citra yang tidak jelas akibat pergerakan dapat dihindari. Spesifikasi teknis pesawat sinar-X secara khusus perlu diperhatikan saat menentukan pilihan untuk pengadaan.

**Generator pesawat sinar-X** harus memiliki daya yang cukup besar agar mampu melakukan eksposur dalam waktu yang sangat singkat (3 ms). Selain itu dibutuhkan generator 12 pulsa atau frekwensi yang lebih tinggi (*12-pulse or high frequency multi-pulse*) agar keluaran radiasi lebih akurat dan reproduksibel [7, 9, 10].

**Pesawat sinar-X mobile** dengan generator konverter adalah pilihan yang lebih baik untuk radiologi anak. Generator 1 (satu) dan generator 2 (dua) *pulse* seharusnya tidak digunakan lagi, karena

pada pemeriksaan thorax bayi 10 bulan akan memberikan dosis permukaan (ESD = *entrance surface dose*) 2,51 kali lebih tinggi daripada generator konverter [9].

**Ukuran Bidang Fokus (*focal spot*)** 0,6 – 1,3 cocok untuk pasien anak-anak [9]. Pekerja radiasi harus berusaha mendapatkan citra dengan detail yang baik dari citra yang dapat dicapai dengan menggunakan bidang fokus ukuran kecil dan waktu penyinaran yang sesingkat mungkin. Jika pilihan ukuran bidang fokus tersedia, keputusan pemilihan ukuran bidang fokus harus dibuat berdasarkan kemampuan bidang fokus untuk memberikan waktu pemaparan yang sesuai dan pemilihan voltase radiografi pada jarak fokus-ke-film (FFD) yang tepat.

Setiap pemeriksaan, luas lapangan penyinaran harus dibatasi dengan **kolimasi** [5]. Jika kolimator berkas cahaya tidak berfungsi (lampu kolimator mati) sehingga ukuran berkas tidak dapat diatur untuk setiap pemeriksaan, ini memungkinkan pasien mendapatkan dosis yang berlebih karena radiasi yang diberikan mengenai organ yang tidak diinginkan.

Penggunaan **perlengkapan proteksi radiasi** bagi setiap pasien dari segala usia, terutama usia anak adalah sangat penting agar dapat menghindari atau mengurangi terimaan paparan radiasi yang tidak diperlukan. Setiap pekerja, pasien, pendamping pasien, dan/atau orang lain yang berhubungan dengan radiasi wajib memakai perlengkapan proteksi radiasi yang meliputi **pemantau dosis perorangan** dan **peralatan protektif radiasi** [Pasal 32, PP No. 33/2007].

Peralatan protektif radiasi seperti apron, sarung tangan, kaca mata, *gonad shields* (pelindung radiasi untuk organ genital) lembaran timbal serta tabir Pb wajib dipakai saat pemeriksaan radiologi sesuai kebutuhannya. Pada kebutuhan pendamping untuk anak – anak atau orang yang lemah pada saat pemeriksaan radiologi harus dilakukan oleh orang dewasa yang berasal dari anggota keluarganya, bukan oleh petugas [4].

Penggunaan apron atau lembaran karet setara 0,25 mm Pb (timbal) pada pemeriksaan radiologi dengan faktor eksposi 60 kV – 80 kV dapat mengurangi dosis yang diterima oleh gonad sekitar 30 % - 40% [9].

Gonad ketika berada lebih dekat dari 5 cm dari berkas primer harus dilindungi dan hal ini dimungkinkan tanpa mengurangi informasi citra diagnostik yang diperlukan [9]. Cara terbaik adalah membuat perisai kontak timah untuk anak perempuan dan kapsul timah untuk anak laki-laki. Pada penggunaan kapsul yang disesuaikan dengan baik, dosis yang diserap pada testis dapat dikurangi sampai 95% [9, 10].

Bagi anak perempuan, perlindungan gonad yang efektif lebih sulit namun penempatan perisai pelindung timbal yang benar dapat menghasilkan pengurangan dosis ke ovarium hingga 50% [9, 10].



**Gambar 4.** Posisi yang benar dari kapsul testis dari bahan elastis yang secara efektif dapat memastikan testis berada di bawah tingkat simfisis pubis [10].



**Gambar 5.** Posisi yang baik dari kontak timah gonad wanita. Perhatikan anak itu memeluk boneka untuk pengalihan, imobilisasi dan ada pendamping yang memakai apron [10]

Pemeriksaan radiologi pada pasien anak khususnya untuk pasien dalam ruang perinatologi atau ICU perlu mendapatkan perhatian yang lebih. Hal ini mengingat proses pemeriksaan radiologi dilakukan dalam ruangan yang terdapat juga pasien-pasien anak lain disekitarnya pada jarak yang tidak jauh ( $\pm 50$  cm). Pemeriksaan radiologi yang dilakukan tanpa menggunakan tabir Pb *mobile* dapat memberikan radiasi hambur pada pasien disekitarnya dan hal ini perlu dihindari [4].

Salah satu penyebab terjadinya pengulangan pemeriksaan radiologi adalah akibat adanya pergerakan yang mengakibatkan citra menjadi tidak baik atau citra dari objek yang terbentuk menjadi tidak jelas. Kendala ini dapat diminimalisir dengan penggunaan alat immobilisasi/fiksasi dan bantuan pendamping, kecuali untuk pasien di ruang perinatologi (umur 0-30 hari) dan ICU, imobilisasi/ fiksasi dibantu oleh perawat [4]. Fasilitas radiologi anak harus memiliki peralatan immobilisasi yang bervariasi, baik yang disesuaikan dengan anatomi maupun ukuran objek atau pasien, sehingga penggunaan alat immobilisasi menjadi efektif dan pasien anak merasa tidak terganggu.



**Gambar 6.** Tabir Pb pada ruangan ICU anak [Dok. Pribadi]



**Gambar 7.** Penggunaan alat fiksasi atau immobilisasi dan bantuan pendamping (orangtua) dalam membantu posisi pemeriksaan radiologi [Dok. Radiologi Anak RSCM].

**Program jaminan mutu** penting dilakukan untuk menilai proses yang ada, meriviu dan memperbaiki proses menjadi lebih baik dalam pelayanan radiologi anak dengan tujuan pencapaian citra yang baik dan penerimaan dosis yang serendah mungkin. Pelaksanaan program jaminan mutu harus diaudit baik secara internal maupun eksternal dan dilakukan secara berkesinambungan dalam rangka meningkatkan efisiensi dan mutu[4].

**Program kendali mutu** harus teliti dalam hal ini saat menilai peralatan untuk pasien anak-anak, antara lain generator yang tidak memenuhi persyaratan untuk kalibrasi yang tepat dan stabil (dalam kisaran toleransi sekitar  $\pm 10\%$ ) tidak boleh digunakan untuk pasien anak-anak dan harus diganti sesegera mungkin [9]. Uji kesesuaian untuk pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional wajib dilakukan. [Pasal 40, PP No. 33/2007].

#### IV. KESIMPULAN

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi pada radiologi anak pada praktiknya dapat dilakukan dari beberapa aspek, yaitu:

1. Radiografer harus memiliki kompetensi teknik radiografi yang baik dan mengerti cara berkomunikasi yang baik kepada pasien anak dengan memperhatikan psikologis anak.

2. Disain ruang radiologi anak, selain memperhatikan aspek proteksi radiasi juga harus dibuat secara khusus dengan memperhatikan pertumbuhan dan perkembangan psikologis anak.
  3. Pemilihan spesifikasi teknis pesawat sinar-X dan perlengkapan untuk mendukung teknik radiografi dalam pemeriksaan radiologi anak sangat penting, untuk mendapat citra yang baik tanpa mengabaikan dosis radiasi yang diterima oleh pasien anak.
  4. Penggunaan peralatan protektif radiasi dan posisi yang tepat sangat signifikan dapat mengurangi dosis 30 % - 40% pada pemakaian apron setara 0,25 mm Pb. Pada penggunaan kapsul yang disesuaikan dengan baik, dosis yang diserap pada testis dapat dikurangi sampai 95%. Penempatan perisai pelindung timbal yang benar dapat menghasilkan pengurangan dosis ke ovarium hingga 50%.
  5. Penggunaan peralatan immobilisasi/fiksasi atau bantuan pendamping/orangtua sangatlah penting untuk memposisikan pasien anak guna meminimalisir pergerakan sehingga mendapatkan kualitas citra yang baik dan menghindari pengulangan pemeriksaan radiologi yang berarti pula menghindari terimaan dosis yang tidak diperlukan pada pasien anak.
  6. Perlu dibuat sebuah prosedur yang baik dari teknik pemeriksaan atau teknik radiografi pada pasien anak yang memperhatikan psikologis anak, kemampuan alat, pemilihan perlengkapan dan peralatan proteksi serta immobilisasi.
  7. Program jaminan mutu dan kendali mutu berperan penting untuk menjaga bahwa prosedur dijalankan dengan baik, meriviu semua proses dan berperan dalam menjaga kualitas atau performa alat.
- Radiology”, NCRP Report No. 68, 1981
- [8] S. Bremmer, H.G. Ringertz, “*Radiological Protection of Pediatric Patients: An Overview*”, IAEA, “Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy”, Topical Session 7, Proceedings of an international conference held in Málaga, Spain, 26–30 March 2001
  - [9] European Commission, “*European Guidelines on Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images in Paediatric*”, EUR 16261 EN, 1996
  - [10] Maryann Hardy and Stephen Boynes, “*Paediatric Radiography*”, Blackwell Science Ltd, 2003
  - [11] Sherer, Mary Alice S., et.all, “*Radiation Protection in Medical Radiography*”, Mosby, 2014
  - [12] Donnelly, Lane F., “*Fundamentals of Pediatric Imaging*”, 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier, 2017
  - [13] Ramanaidu S., et. all, “*Evaluation of Radiation Dose and Image Quality Following Changes to Tube Potential (kVp) in Conventional Paediatric Chest Radiography*”, Biomedical Imaging and Intervention Journal, 2(3): e35, 19 June 2006
  - [14] Bushberg, Jerrold T., et. All, “*The Essential Physics of Medical Imaging*”, Third Edition, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 2012
  - [15] Ween, Borgny, “*Pediatric Digital Chest Radiography, Comparison of Grid Versus Non-Grid Techniques*”, Euro-med Congress for Radiographers, Elsevier, 2010
  - [16] Willis, Charles E., “*Optimizing Digital Radiography of Children*”, European Journal of Radiology 72: 266–273, 2009

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, Undang – Undang Nomor. 23, “*Perlindungan Anak*”, 2002
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif”, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007
- [3] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “*Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*”, Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011
- [4] Laporan Hasil kajian (LHK) “*Pengkajian Sistem Pengawasan tentang Proteksi Radiasi di Fasilitas Radiologi Intervensional*”, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta 2010
- [5] International Atomic Energy Agency (IAEA), “*International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for The Safety of Radiation Sources*”, Safety Series No. 115, 1996
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA), “*International Basic Safety Standards*”, General Safety Requirements Part 3, 2014
- [7] National Council on Radiation Protection and Measurement, “*Radiation Protection in Pediatric*



## PROFIL DOSIS RADIASI PADA PROSEDUR KARDIOLOGI INTERVENSIONAL ANAK DALAM MEMPERKIRAKAN RESIKO TERJADINYA EFEK STOKASTIK : STUDI AWAL

Lailatul Muqmiroh<sup>1</sup>, Soegardo IP<sup>1</sup>, Risalatul Latifah<sup>1</sup>, Rusmanto<sup>3</sup>, Anggraini DS<sup>1,2</sup>, I Ketut Alit U.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi D-IV Radiologi, Fakultas Vokasi, Universitas Airlangga

<sup>2</sup> Fakultas Kedokteran, Universitas Airlangga

<sup>3</sup> Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

Email: liling.suhadi@gmail.com

### ABSTRAK

Tujuan penelitian profil dosis radiasi pada pasien anak yang menjalani prosedur kardiologi intervensi adalah untuk memperkirakan resiko terjadinya efek stokastik. Sebagaimana diketahui organ tubuh anak memiliki sensitivitas radiasi yang lebih besar dibandingkan dengan organ tubuh orang dewasa. Pengambilan data dosis radiasi dilakukan dengan pemasangan chips berupa *thermoluminescence dosimeter* (TLD) di area gonad, thyroid, dada kanan dan kiri serta di vertebrae thorakal 5 pasien selama prosedur operasi berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis terbesar yang diterima pasien adalah pada area vertebrae thorakal 5, baru kemudian di area sisi kanan. Hal ini bisa dijelaskan karena selama tindakan kardiologi intervensi terjadi superimpose berkas sinar X pada area vertebrae baik pada proyeksi AP, LAO maupun RAO. Probabilitas terjadinya efek stokastik yang paling besar dari ke 5 area yang diukur dosis radiasinya adalah terjadinya leukemia. Perkiraan probabilitas terjadi efek stokastik yaitu leukemia sebesar 0,9 %, kemudian kanker thyroid 0.037%.

**Kata kunci :** Kardiologi Intervensi anak, TLD, efek stokastik, *estimation rate ratio*.

### ABSTRACT

*The aim of this research is to estimate the stochastic effect risk in pediatric patient during interventional cardiology procedures. The pediatric organs are more radiosensitive than the adults. Nevertheless, the knowledge of the effective dose in pediatric interventional cardiology is very limited. The intensive research on radiation dose profile on pediatric patients having interventional cardiology procedures has been conducted. Data collection was performed by placing thermoluminescence dosimeter (TLD) on thyroid, gonad, left and right thoracic areas, and the 5<sup>th</sup> thoracic vertebrae during interventional cardiology. The results showed that the greatest exposure was received around vertebrae (bone marrow) because of the superimpose X-ray on the vertebrae during the procedures. The greatest probability of stochastic effect that happened was leukemia. Estimation risk ratio of leukemia was 0,9 % and thyroid cancer was 0,037%.*

**Keywords:** *pediatric interventional cardiology, TLD, stochastic effect, estimation rate risk*

## I. PENDAHULUAN

Pada anak-anak, tindakan intervensi kardiologi dilakukan pada penderita dengan kelainan jantung (*Congenital Heart Disease*), meliputi kardiologi intervensi diagnostik maupun terapi. Prosedur intervensi kardiologi saat ini mampu menyelesaikan sebagian besar masalah penderita anak dengan *Congenital Heart Disease*. Prosedur *minimal invasive* dengan tuntunan sinar X ini sangat berkembang beberapa dekade terakhir, baik ilmu pengetahuan, metode, peralatan medis maupun modalitas teknologinya. [1,2,3].

Dosis radiasi, efek radiasi maupun tindakan proteksi radiasi saat ini menjadi perhatian utama bagi praktisi di bidang intervensi, disebabkan kesadaran mengenai akibat jangka panjang (*life-time risk*) baik

terhadap penderita, praktisi maupun orang yang berada disekitarnya. Dragusin dkk, mengemukakan bahwa praktisi kardiologi intervensi sebaiknya lebih memperhatikan dosis radiasi yang digunakan selama tindakan kardiologi intervensi.

Resiko akibat paparan radiasi pengion diketahui terbanyak diakibatkan oleh radiasi pengion itu sendiri. Pada dekade awal penggunaan sinar X oleh W.H Roentgen, efek radiasi yang telah dilaporkan adalah luka bakar dikulit [4], dan ditemukan kasus kanker dalam waktu 7 tahun setelah terjadi paparan radiasi sinar X dosis tinggi [5]. Pemeriksaan dengan menggunakan radiasi pengion memberikan efek radiasi pada tubuh, berupa efek stokastik dan deterministik. Efek deterministik akan timbul setelah melewati ambang batas dosis radiasi, sedangkan efek stokastik

terjadi tanpa mengindahkan ambang batas dosis radiasi. Kanker merupakan efek stokastik yang sering ditemui pada anak-anak yang mengalami paparan radiasi dibandingkan dengan dewasa.[5,6,7,8,9,10]

Besarnya dosis radiasi sinar X yang digunakan akan memberikan efek radiasi pada sel tubuh. Anatomi dan fisiologi tubuh anak yang berbeda dengan orang dewasa menjadikan mereka lebih sensitif terhadap radiasi [7,11]. Efek radiasi bisa berupa efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik akan timbul bila dosis radiasi melampaui ambang batas. Sedangkan efek stokastik tidak tergantung dari ambang batas dosis, namun dapat diperkirakan. Efek stokastik yang dapat diperkirakan adalah kemungkinan kejadian kanker. Paparan radiasi pada masa anak-anak akan meningkatkan resiko terjadinya leukemia, kanker payudara dan kanker thyroid. [8,12,13,14]

Dengan mengetahui profil dosis radiasi yang terdiri dari komponen dosis total, Dose Area Product (DAP), dan waktu fluoroskopi akan dapat menunjukkan besarnya dosis efektif. Dosis efektif merupakan patokan untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya kanker setelah terpapar radiasi sinar X. [15]

Dosimeter termoluminesensi (TLD) telah dikembangkan lebih dari duapuluh tahun yang lalu. TL diaplikasikan pada berbagai tujuan proteksi radiasi yang beragam seperti pada radioterapi, radiodiagnostik maupun untuk tujuan kendali mutu seperti kalibrasi sumber radioaktif dan lain sebagainya. [16,17,18,19]

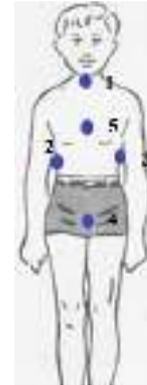
Pada penelitian yang dilakukan oleh Mobbs dkk, 2009 menunjukkan pentingnya pengetahuan dalam mengenal mekanisme resiko akibat radiasi pada radiasi pengion dosis rendah. Peneliti tidak hanya menunjukkan putusannya ikatan kimia pada DNA pasien anak yang menjalani tindakan kardiologi intervensional tapi juga menunjukkan secara in vivo respon terhadap dosis yang tidak terlihat secara linier, namun faktanya lebih tinggi dari yang diekspektasikan.[15]

## II. METODE

Tahapan penelitian dimulai dari persiapan dan perizinan penelitian di Rumah Sakit. Setelah itu persiapan alat pengukur radiasi berupa termoluminesence dosimeter (TLD-100) LiF:Mg,Ti dari Harshaw sebanyak 15 titik TLD. Satu titik TLD berisi 3 (tiga) buah chip TLD. TLD tersebut dipasang di lima titik tubuh pasien, yaitu thyroid, gonad, sisi tubuh kanan dan kiri serta di vertebrae thoracal 5 (Gambar 1). TLD yang akan digunakan telah dikalibrasi sebelumnya di BAPETEN. Pembacaan hasil TLD dilakukan di Laboratorium TLD di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dengan pembacaan awal sebagai pembanding. Hasil kalibrasi TLD mempengaruhi hasil bacaan TLD.

Sampel penelitian ini adalah pasien anak dengan rentang usia 1-10 tahun yang menjalani tindakan kardiologi intervensi terapeutik yang sebelumnya dilakukan pengukuran berat badan, tinggi badan dan tebal permukaan (Tabel 1). Alat angiografi yang digunakan GE Elite 9900 (Medical System) dengan *flat panel detector* berukuran 18 "x18" pada *Articulating Arm*. Posisi yang sering digunakan selama

tindakan kardiologi anak adalah Anterior Posterior (AP), Left Anterior Oblique (LAO) dan Right Anterior Oblique (RAO).



**Gambar 1.** Posisi TLD pada pasien 1. Thyroid, 2. Sisi kanan, 3. Sisi kiri, 4. Gonad, 5. VTh5

**Tabel 1** Karakteristik sampel

No	Sampel	Usia (tahun)	Jenis kelamin <sup>a)</sup>	Berat badan (kg)	Tinggi badan (cm)	Tebal permukaan tubuh (cm)
1.	Anak x	8,5	L	35	130	12,7
2.	Anak y	6	P	14	120	9,2
3.	Anak z	2,5	L	10	80	8,1

<sup>a)</sup> L: Laki-laki P: Perempuan

Dengan mengetahui dosis radiasi yang diserap oleh TLD, maka dapat ditentukan *estimation rate risk* (ERR) terjadinya efek stokastik. Pada penelitian ini kami menggunakan faktor resiko yang bergantung pada usia dan jenis kelamin sesuai panduan ICRP 60, yaitu 13%/Sv untuk anak laki-laki dan 16%/Sv anak perempuan sampai usia 10 tahun.[22]

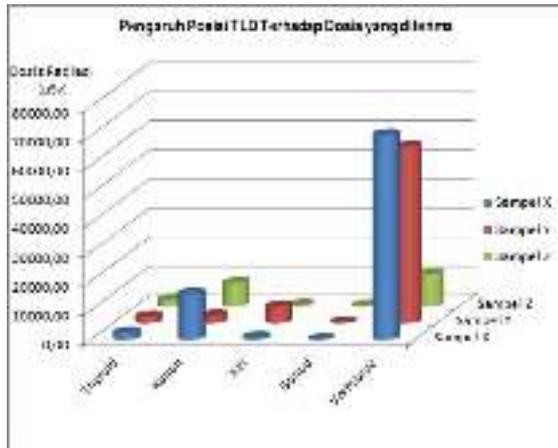
## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan dosis total yang diterima oleh pasien X paling besar dibandingkan dengan pasien Y maupun Z (Tabel 2). Hal ini selaras dengan waktu fluoroskopi yang digunakan selama tindakan kardiologi intervensional. Kuantitas sinar-X merupakan ukuran jumlah foton dalam berkas utama sinar-X. Faktor yang berpengaruh langsung terhadap kuantitas sinar-X adalah kuat arus (mAs) selama paparan dan jarak. Jarak yang dimaksud dalam penelitian ini merupakan jarak antara tabung dengan pasien. Pengukuran jarak antara tabung dengan pasien tidak dapat dilakukan, karena selama Tindakan terjadi beberapa perubahan posisi maupun jarak antara tabung dengan pasien.

**Tabel 2** Dosis total dan waktu fluoroskopi pada ketiga pasien

No	Sampel	Dosis Total (mGym <sup>2</sup> )	Waktu fluoro (detik)
1.	Anak X	1,53	907,2
2.	Anak Y	0,89307	912,4
3.	Anak Z	0,28845	178,1

Berdasarkan pengaruh posisi TLD dengan dosis radiasi yang diterima, dosis radiasi yang diterima TLD di vertebrae Thorakal 5 paling tinggi dibandingkan dengan posisi lainnya (Grafik 1).



Grafik 1 Pengaruh posisi TLD terhadap besar dosis yang diterima

Terbanyak kedua adalah pada posisi sisi kanan, kecuali pada sampel Y. Hal ini disebabkan, selain posisi Anteroposterior, posisi yang sering digunakan adalah Lateral Anterior Oblique (LAO), sehingga posisi tabung berada di sisi kanan. Pada sampel Y, posisi yang digunakan paling banyak selain AP adalah RAO, sehingga tabung berada disisi kiri dan dosis yang diterima sisi kiri lebih banyak dibandingkan sisi kanan. [6,23]

Belum ada penelitian sebelumnya mengenai beberapa posisi TLD pada tindakan kardiologi intervensional, sehingga hasil dosis radiasi terhadap berbagai posisi TLD tidak dapat dibandingkan. Penelitian ini bisa menjadi acuan dalam menganalisa dosis radiasi yang diterima pasien pada beberapa posisi.

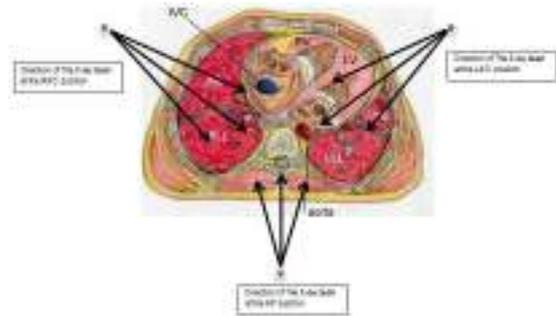
Dosis radiasi yang lebih banyak pada posisi tertentu dapat disebabkan karena efek rotasi pada C-arm, seperti pada Gambar 2. Selama tindakan berlangsung, arah tabung sinar-X berubah-ubah sesuai kebutuhan prosedur tindakan. Hal ini dapat berpengaruh terhadap dosis radiasi yang diterima oleh pasien tersebut. Ketika sudut proyeksi tabung sinar-X miring ke sisi kanan, mengakibatkan paparan yang lebih tinggi pada sisi kanan. Sebaliknya, paparan radiasi akan berkurang ketika tabung sinar-X menjauh dari pasien. [6]



Gambar 2 Efek radiasi pada rotasi tabung (Gusti, 2016)

Dosis radiasi yang diterima oleh vertebrae lebih besar dibandingkan dengan posisi lain, disebabkan terjadinya superimpose berkas sinar X pada

posisi LAO,RAO maupun AP, yang bisa terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Arah berkas sinar saat prosedur kardiologi intervensi.

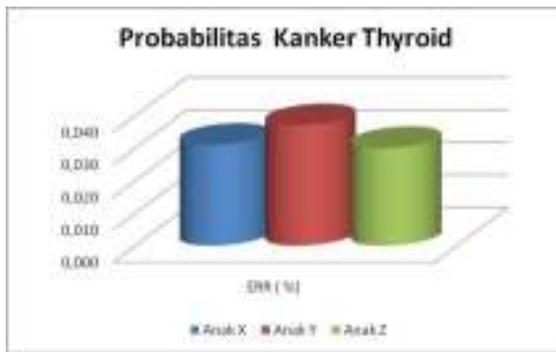
Dari tabel 3, terlihat dosis radiasi yang diterima kelima belas TLD pada posisi thyroid, gonad, kanan kiri pasien dan vertebrae. Dari dosis radiasi yang dihasilkan dapat dianalisa estimation risk rate (ERR) efek stokastik.

Tabel tersebut menunjukkan bahwa Estimation Radiation Risk untuk terjadinya kanker terbanyak pada daerah vertebrae sesuai dengan dosis radiasi yang didapat sebagaimana dijelaskan sebelumnya. Akibat radiasi pengion yang diterima oleh organ, maka kanker yang timbul sesuai dengan organ tersebut. Terkecuali untuk vertebrae, pada kasus ini red bone marrow, maka resiko kanker yang terjadi adalah leukemia.

Tabel 3 Dosis efektif, lokasi TLD dan Estimated Radiation Risk

Titik TLD	Dosis Efektif (µSv)	Lokasi	ERR (%)
1	2405,93	Thyroid	0.031
2	15917,92	Sisi Kanan	0.2
3	944,06	Sisi Kiri	0.012
4	202,45	Gonad	0.002
5	70495,36	Vertebrae Th5	0.92
6	2327,53	Thyroid	0.037
7	2614,31	Sisi Kanan	0.04
8	5702,56	Sisi Kiri	0.09
9	316,41	Gonad	0.005
10	60624,39	Vertebrae Th5	0.97
11	2372,05	Thyroid	0.030
12	598,66	Sisi Kiri	0.007
13	8059,43	Kanan	0.1
14	314,69	Gonad	0.004
15	11113,44	Vertebrae Th5	0.14

Pada grafik 2,3,4 berikut ini menggambarkan resiko terjadinya kanker pada masing-masing organ.



Grafik 2 Probabilitas terjadi kanker thyroid

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa probabilitas terjadi kanker thyroid pada ketiga anak tidak berbeda secara signifikan. Pada anak Z, meski waktu flouroskopinya lebih pendek dibandingkan anak X maupun Z, namun karena panjang tubuh nya lebih pendek maka dosis yang diterima oleh thyroid tidak banyak berbeda.

Pada grafik 3 didapatkan probabilitas terjadi kanker gonad terendah pada anak X, kemungkinan disebabkan oleh panjang tubuh anak X lebih besar dibandingkan dengan anak Y maupun Z sehingga dosis radiasi yang diterima oleh anak X lebih rendah dibandingkan dengan anak lainnya.



Grafik 3 Probabilitas terjadi kanker pada gonad.



Grafik 4 Probabilitas terjadi Leukemia

Pada grafik 4, probabilitas terjadi leukemia pada anak X,Y tidak berbeda secara signifikan. Pada anak Z paling rendah probabilitasnya dibandingkan anak lainnya, kemungkinan disebabkan waktu flouroskopi pada anak Z jauh lebih singkat.

Probabilitas efek stokastik pada organ spesifik yang dihasilkan pada penelitian ini belum mempunyai pembandingan dari penelitian sebelumnya maupun jurnal yang dikeluarkan oleh ICRP,UNSCEAR maupun IAEA.

Kunadian V et al,2007, melakukan pengukuran dosis radiasi dan resiko jangka panjang (efek stokastik) pada prosedur kardiologi diagnostik pada anak dengan ERR 0.011-0.029 %. [24]. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Klaus B et al,2005, mengukur dosis radiasi dan ERR pada prosedur kardiologi anak dengan median ERR 0.09 % untuk prosedur yang bersifat terapeutik dan 0,06 % yang bersifat diagnostik. Penelitian ini tidak menunjukkan organ spesifik yang mempunyai resiko terjadi efek stokastik. [25] Sehingga penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk menentukan probabilitas terjadinya efek stokastik pada organ-organ tertentu selama prosedur kardiologi intervensional anak, terutama yang bersifat terapeutik .

Kelemahan dari penelitian ini adalah tidak terdapat persamaan jarak antara tabung dengan meja tindakan pada semua sampel. Sedangkan kuantitas sinar X tergantung pada kV dan jarak. Mungkin perlu penelitian lebih lanjut dengan jarak yang sama antar sampel sehingga data yang dihasilkan lebih akurat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada Ibu Rini Suryanti,M.Si (Kepala Bidang Pengkajian Kesehatan BAPETEN), dan kru Cathlab Bpk. Toto Sudjarwo dan rekan-rekan.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa probabilitas terjadinya efek stokastik yang paling besar diantara 5 posisi yang telah diukur dosis radiasinya adalah terjadinya leukemia. Hal ini bisa dijelaskan karena selama tindakan kardiologi intervensional terjadi superimpose berkas sinar X pada vertebrae baik pada posisi AP,LAO maupun RAO. Selain itu, vertebrae merupakan organ yang lebih dekat dengan tabung.

Perkiraan probabilitas terjadi efek stokastik yaitu leukemia sebesar 0,9 %, kemudian kanker thyroid 0.037%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dragusin O.,Bokou C.,Wagner D.,(2011). Advances in the Diagnosis of Coronary atherosclerosis ."Optimization of Radiation Dose and Image Quality in Cardiac Catheterization Laboratories.",InTech. Chapter 19.
- [2] IAEA. 2010. Patient Dose Optimization in Fluoroscopically Guided Interventional Procedures. Vienna
- [3] Sommer, Robert, 2014, Baim's Cardiac Catheterization, Angiography, and Intervention, 8E Chapter 35 p 838, Lippincott Williams & Wilkins, A Wolters Klu Wer Business,Philadelphia USA.
- [4] Stevens LG. (1896). Injurious effects on the skin. BMJ 1896; 1: 998 Friebe A. *Demonstration eines Cancroids des rechten Handrückens, das sich nach langdauernder Einwirkung von Röntgenstrahlen bei einem 33 jährigen Mann entwickelt hatte.* Fortschr Röntgenstr 1902; 6: 106
- [5] Steve Forshier.(2009). Essentials of Radiation

- Biology and Protection, Second Edition. Delmar Cengage Learning. USA
- [6] Ionizing radiation, (2000) .Part 1: X- and gamma-radiation, and neutrons. Lyon, International Agency for Research on Cancer, (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans, Volume 75).
- [7] UNSCEAR (2013). Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York, NY.
- [8] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2008). Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I: Sources. New York: United Nations
- [9] UNSCEAR (2006). Sources, effects and risks of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [10] UNSCEAR. (2012). Sources, Effects and Risk of Ionizing Radiation Report. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations, New York.
- [11] Madan M. Rehani. (2013). Are children more sensitive to radiation than adults? European Society of Radiology.
- [12] Brenner DJ.. (2001) Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. American journal of Roentgenology, 2001, 176(2):289-96.
- [13] Lawrence T. Dauer, PhD, CHP, Raymond H. Thornton, MD, Donald L. Miller, MD. 2012. Radiation Management for Interventions Using Fluoroscopic or Computed Tomographic Guidance during Pregnancy: A Joint Guideline of the Society of Interventional Radiology and the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe with Endorsement by the Canadian Interventional Radiology Association. *J.Vasc Interv Radiol* 2012; 23:19–32.
- [14] MP Little.(2003). Risks associated with ionizing radiation : Environmental pollution and health, *Br Med Bull* 68 (1): 259-275
- [15] S Mobbs, S Watson, J Harrison, C Muirhead and S Bouffler.2009. An Introduction to the Estimation of Risks Arising from Exposure to Low Doses of Ionising Radiation Health Protection Agency Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards Radiation Protection Division. UK
- [16] Dosimetry, National Research Council (U S.) Committee on Ionizing Radiation, and John Roderick Cameron. 1986. Review of U.S. Army Ionizing Radiation Dosimetry System: A Report. National Academies.
- [17] Gusti Atika Urfa (2016). Studi Distribusi Dosis Radiasi Lensa Mata Hp(3) Pada Tld-900 Yang Digunakan Oleh Pekerja Kardiologi Intervensional. Universitas Brawijaya.
- [18] Me KEEVER S.W.S.(1985). Thermoluminescence of solids. University Press (New York)
- [19] Me KINLAY A.F. (1981). Thermoluminescence Dosimetry - Medical Physics Handbooks N°5. Adam Hilger, Ltd .
- [20] Savva, Antonia. 2010. Personnel TLD Monitors, Their Calibration and Response. University of Surrey.  
[http://personal.ph.surrey.ac.uk/~phs1pr/msc\\_dissemtations/msc-diss-2010/Antonia%20Savva-%20Summer%20project%20corrected.pdf](http://personal.ph.surrey.ac.uk/~phs1pr/msc_dissemtations/msc-diss-2010/Antonia%20Savva-%20Summer%20project%20corrected.pdf), accessed February 13, 2016
- [21] Marinello. G. (1996).Thermoluminescence Dosimetry Applied to Quality Assurance in Radiotherapy, Brachytherapy and Radiodiagnostic. IAEA
- [22] International Commission on Radiological Protection (ICRP). Publication 60. (1990) Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP* 1991; 21(1–3). Oxford: Pergamon
- [23] ACC/AHA, (2008), Guidelines for the Management of Adults With Congenital Heart Disease: Executive Summary A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Develop Guidelines for the Management of Adults With Congenital Heart Disease), *Circulation*. Vol 118:2395-2451.
- [24] Kunadian Vijayalakshmi, Dee Kelly et al.2007. Cardiac Catheterisation : Radiation Doses and Lifetime Risk of Malignancy. *Heart* 2007;93; 370-371
- [25] Klaus B.,Evelien B., et al. 2005. Patient-specific Dose and Radiation Risk Estimation in Pediatric Cardiac Catheterization. *Circulation*. 2005 Jan 4;111(1):83-9. Epub 2004 Dec 20



## PENGEMBANGAN APLIKASI REKAM DOSIS UNTUK PEMERIKSAAN PAYUDARA DENGAN PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI BERBASIS *WEB SERVICE*

Yudi Meidiansyah, Zaenal Arifin, Muhammad Izzuddin Shofar

Universitas Diponegoro Semarang

e-mail: [yudi.meidiansyah@st.fisika.undip.ac.id](mailto:yudi.meidiansyah@st.fisika.undip.ac.id)

### ABSTRAK

Mamografi merupakan modalitas utama yang digunakan dalam deteksi dini kanker payudara pada wanita, namun informasi mengenai dosis yang diterima oleh pasien pemeriksaan mamografi masih belum tersedia. Merujuk pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif, informasi dosis diperlukan dalam pemenuhan aspek optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi pada pasien. Informasi ini dapat dipenuhi melalui tingkat panduan untuk paparan medik atau DRL dan sejalan dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonable Achieveable*) dalam uji kesesuaian. Pada penelitian ini, informasi dosis dirancang dalam suatu aplikasi rekam dosis berbasis *web service*. Perumusan prediksi dosis ini dilakukan berdasarkan parameter-parameter dari hasil uji kesesuaian yang dilakukan, yakni uji linearitas output dan uji kualitas berkas radiasi (HVL). Keluaran radiasi diakuisisi dengan melakukan penyinaran pada tegangan 23 – 31 kV, serta variasi arus waktu sebesar 10 – 160 mAs. Nilai koefisien linearitas keluaran radiasi yang didapat menunjukkan hasil yang linear dengan nilai CL dari variasi tegangan berkisar antara 0,008 – 0,021. Persamaan keluaran radiasi yang diperoleh dari plot grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap output radiasi (mGy/mAs) adalah  $y=0,00000003x^{3,7507}$ . Persamaan ini disubstitusikan kedalam persamaan INAK sehingga dapat diprediksi nilai kerma udara yang diterima pasien, sedangkan nilai MGD dihitung dengan mengalikan nilai INAK terhadap faktor konversi dengan asumsi prosentase glandular pasien adalah sebesar 50%. Formula ini kemudian diterapkan pada aplikasi rekam dosis. Berdasarkan hasil evaluasi dosis, perbandingan rata-rata yang ditunjukkan antara INAK hasil prediksi terhadap INAK hasil bacaan detektor adalah sebesar 3,10%. Dosis glandular yang diperoleh dari hasil estimasi untuk ketebalan kompresi 5,8 cm berkisar antara 0,008 – 0,464 mGy, sedangkan pada ketebalan kompresi 4 cm berkisar antara 0,011 – 0,611 mGy, dan untuk ketebalan kompresi 2 cm berkisar antara 0,020 – 1,070 mGy. Merujuk pada hasil yang didapat, aplikasi rekam dosis berbasis *web service* yang dirancang dapat beroperasi dengan baik.

**Kata Kunci:** Mamografi, *Mean Glandular Dose* (MGD), *Incident Air Kerma* (INAK), rekam dosis pasien, *Web Service*.

### ABSTRACT

*Mammography is a major modality that has been used for early detection of breast cancer, but patient dosage information facility by mammography examination is not available yet. Referring to Government Regulation (PP) no. 33 of 2007 concerning about the Safety of Ionizing Radiation and Radioactive Sources Security, dose information is required in the fulfillment of optimization aspects of protection and radiation safety in patients. This information can be met through the guidance levels for medical exposure or DRL and aligned with the principle of ALARA (As Low As Reasonable Achievable) in the conformity test. In this study, dose information was designed in web service. The formulation of this dose prediction is based on the parameters of the conformity test results, i.e. radiation output linearity test and exposure quality test (HVL). Radiation output was acquired by irradiation at 23 – 31 kV, as well as time variations of 10 – 160 mAs. The linearity coefficient value of the obtained radiation output shows linear results with CL value from 0.008 – 0.021. The radiation output equation generated from the graph plot of the relation between voltage (kV) with radiation output (mGy/mAs) is  $y=0.00000003x^{3,7507}$ . This equation is substituted into INAK equation, whereas the MGD value is calculated by multiplying INAK value and conversion factors with assuming the patient's glandular percentage is 50%. Based on the results of dose evaluation, the average ration shown between the predicted dose to the detector dosage was 3.10%. The result of glandular dose estimation for 5.8 cm compression thickness is ranged from 0.008 – 0.464 mGy, whereas at 4 cm compression thickness is ranged between 0.011 – 0.611 mGy, and for 2 cm compression thickness is ranged from 0.020 – 1.070 mGy. Referring to this results, a web service application to predict patien dose in mammography examination can operate properly.*

**Keywords:** *Mammography, Mean Glandular Dose (MGD), Incident Air Kerma (INAK), patient dose record, Web Service*

## I. PENDAHULUAN

Sinar-X merupakan salah satu bentuk pencitraan medis tertua dan paling banyak digunakan saat ini. Sinar-X yang memiliki energi yang tinggi diketahui dapat menghitamkan film yang dapat dimanfaatkan dalam mendiagnosa dan memeriksa berbagai macam penyakit, dari jenis yang paling ringan seperti radang sendi, cedera tulang belakang, pneumonia, bronkitis, hingga penyakit yang berat seperti tumor dan kanker.

Salah satu jenis dari pesawat sinar-x dalam radiodiagnostik adalah pesawat mamografi. Pesawat mamografi ini biasa digunakan untuk mendeteksi potensi keganasan yang terjadi pada kelenjar payudara, juga biasa dilakukan untuk mendeteksi awal kanker payudara (stadium nol). Dalam penggunaannya, dosis radiasi sinar-x yang digunakan dalam pemeriksaan mamografi tergolong sangat rendah (umumnya berkisar 0,7 mSv), sehingga dianggap tidak mempengaruhi kesehatan pasien. Namun, pemeriksaan dengan menggunakan pesawat mamografi ini tetap menggunakan radiasi pengion yang harus tetap memperhatikan batasan-batasan dalam penggunaannya. Penggunaan sinar-x yang melebihi batas paparan dikhawatirkan dapat menimbulkan efek tertentu pada kesehatan pasien, salah satunya yaitu kanker.

Pemerintah melalui Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif menyatakan bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib dilaksanakan dengan memenuhi persyaratan proteksi radiasi, yang meliputi: justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis, dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Pada pasien, penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus dilakukan agar besarnya dosis yang diterima serendah mungkin dan harus berada di bawah nilai batas dosis. Hal tersebut dapat dipenuhi melalui tingkat panduan (*guidance level*) untuk paparan medik dan sejalan dengan pemenuhan prinsip ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*) dalam uji kesesuaian<sup>[1]</sup>. Tingkat panduan yang dimaksud dalam hal ini merupakan nilai panduan yang hendaknya dicapai melalui kegiatan medik dengan metode yang teruji, yang dalam kegiatan radiodiagnostik dinyatakan dalam nilai dosis atau laju dosis<sup>[2]</sup>.

Berdasarkan penjelasan tersebut, informasi dosis dalam suatu paparan medik yang diterima pasien dalam hal ini memiliki peranan penting dalam pemenuhan aspek optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Informasi dosis pasien dapat diketahui dengan meletakkan alat ukur dosis pada saat pemeriksaan pasien, namun hal ini dirasa kurang efektif dan efisien. Oleh karenanya, saat ini telah dikembangkan suatu rancangan prediksi perhitungan dosis radiasi pada pemeriksaan mamografi menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan propagasi balik<sup>[3]</sup>.

Dalam studi ini, informasi dosis dirancang dalam bentuk profil rekam dosis dengan nilai dosis yang dapat diprediksi melalui persamaan keluaran radiasi. Parameter-parameter dari uji kesesuaian dalam perancangan prediksi nilai dosis pesawat sinar-x sangat dibutuhkan guna mengevaluasi efisiensi dan kehandalan dari perangkat yang digunakan, sehingga

aplikasi rekam dosis yang dirancang dapat memberikan nilai dosis dengan tingkat keakuratan yang tinggi. Selain itu, hal ini juga untuk memastikan bahwa pesawat sinar-x yang digunakan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan dapat memberikan informasi diagnosis yang benar.

## II. LANDASAN TEORI

Mamografi adalah pencitraan menggunakan sinar-X pada jaringan payudara yang dikompresi, sedangkan mamogram adalah gambar hasil pencitraan mamografi. Untuk memperoleh interpretasi hasil pencitraan yang baik, dibutuhkan dua posisi mamogram dengan proyeksi berbeda 45 derajat (kraniokaudal dan *mediolateraloblique*). Mamografi dapat bertujuan untuk skrining kanker payudara, diagnosis kanker payudara, dan *follow up* / kontrol dalam pengobatan. Mamografi dilakukan pada wanita usia di atas 35 tahun, namun karena payudara orang Indonesia lebih padat maka hasil terbaik mamografi sebaiknya dikerjakan pada usia > 40 tahun<sup>[4]</sup>.

Pemeriksaan Mamografi sebaiknya dikerjakan pada hari ke 7 – 10 dihitung dari hari pertama masa menstruasi; pada masa ini akan mengurangi rasa tidak nyaman pada wanita pada waktu di kompresi dan akan memberi hasil yang optimal. Untuk standarisasi penilaian dan pelaporan hasil mamografi, digunakan BIRADS yang dikembangkan oleh *American College of Radiology*. Tanda primer berupa: densitas yang meninggi pada tumor, batas tumor yang tidak teratur oleh karena adanya proses infiltrasi ke jaringan sekitarnya atau batas yang tidak jelas (komet sign), gambaran translusen disekitar tumor, gambaran stelata, adanya mikrokalsifikasi sesuai kriteria Egan, serta ukuran klinis tumor lebih besar dari radiologis. Sedangkan tanda sekunder berupa: retraksi kulit atau penebalan kulit, bertambahnya vaskularisasi, perubahan posisi puting, kelenjar getah bening aksila (+), keadaan daerah tumor dan jaringan fibroglandular tidak teratur, dan kepadatan jaringan sub areolar yang berbentuk utas<sup>[4]</sup>.

Dalam penggunaan pesawat sinar-x, diperlukan suatu pemeriksaan pesawat yang dilakukan secara teratur yang dinamakan uji kesesuaian (*compliance test*). Uji ini dilaksanakan untuk menjamin keselamatan radiasi dalam pemanfaatan pesawat sinar-x yang digunakan. Uji Kesesuaian (*Compliance Test*) dilakukan secara periodik pada pesawat sinar-x yang sudah digunakan untuk pelayanan. Ada dua jenis pengujian yang termasuk dalam uji kesesuaian, yaitu: uji monitoring dan uji tahunan. Uji monitoring dilakukan untuk menguji beberapa parameter vital yang biasa digunakan dalam pelayanan, dimana pengujian ini dilakukan dengan frekuensi 2 – 3 bulan sekali. Sedangkan uji tahunan dilakukan untuk menguji seluruh parameter vital pesawat sinar-x, dan frekuensi pengujiannya dilaksanakan 1 – 2 tahun sekali<sup>[5]</sup>.

Pada umumnya, uji kesesuaian pesawat sinar – X Mamografi terbagi menjadi dua bagian, yaitu: pemeriksaan awal dan uji teknis<sup>[6]</sup>.

1. Pemeriksaan Awal: Perlengkapan Pesawat Mamografi

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengevaluasi fungsi mekanik sistem dan keselamatan dalam pengoperasian pesawat mamografi.

## 2. Uji Teknis

Pada dasarnya, komponen uji teknis untuk semua jenis pesawat mamografi adalah sama. Namun karena terdapat variasi jenis reseptor citra, yaitu analog (film/screen) dan digital (CR dan DR), maka terdapat beberapa perbedaan metode uji untuk masing-masing sistem tersebut. Uji teknis pesawat sinar-x mamografi secara umum dibagi menjadi:

- a. Uji Kolimasi Berkas Cahaya
- b. Uji Generator dan Tabung Sinar – X
  - └ Akurasi dan Reproduksiabilitas Tegangan
  - └ Reproduksiabilitas dan Linearitas Output
  - └ Kualitas Berkas Radiasi (HVL)
  - └ Kebocoran Wadah Tabung Sinar – X
  - └ Kendali Paparan Otomatis (AEC)
- c. Informasi Dosis Pasien
  - └ Kerma Udara
  - └ *Mean Glandular Dose* (MGD)
- d. Kualitas Citra
- e. Respon Detektor (Digital)

Nilai INAK (*Incident Air Kerma*) dan MGD (*Mean Glandular Dose*) merupakan parameter yang penting dalam estimasi dosis yang diterima oleh pasien dalam suatu pemeriksaan mamografi. Satuan dari kerma udara insiden yaitu J/Kg (Gy). Pada kerma udara insiden, radiasi hamburan balik tidak termasuk didalamnya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai dari kerma udara insiden ini ditunjukkan pada persamaan 1 di bawah ini.

$$K_i = Y(d) P_{it} \left( \frac{d}{d_{FDD} - t_p} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana  $K_i$  adalah dosis insiden atau INAK (mGy),  $Y(d)$  adalah *tube output* pada jarak  $d$  (mGy/mAs),  $P_{it}$  adalah *tube loading* (mAs),  $d$  adalah jarak fokus ke detektor,  $d_{FDD}$  adalah jarak fokus ke meja pasien, dan  $t_p$  adalah tebal objek radiasi<sup>[7]</sup>. Sedangkan pengukuran nilai MGD dapat dilakukan dengan mengalikan nilai INAK dengan faktor konversi seperti yang ditunjukkan dalam persamaan 2 di bawah ini.

$$D_G = C_{D_{G50}, K_i} C_{D_{Gg}, D_{G50}} s K_i \quad (2)$$

Dimana  $D_G$  adalah MGD atau dosis rata-rata glandular (mGy),  $C_{D_{G50}, K_i}$  adalah factor konversi (mGy/mGy) yang digunakan untuk menghitung MGD dengan *prosentase* glandular 50% dari nilai  $K_i$ ,  $C_{D_{Gg}, D_{G50}}$  adalah koefisien konversi *prosentase* glandular  $C_{D_{Gg}, D_{G50}}$  pada glandular (g) 0.1 – 100% pada payudara,  $s$  adalah table koreksi *spectral*, dan  $K_i$  adalah INAK (*Incident Air Kerma*)<sup>[8]</sup>.

XAMPP adalah sebuah software web server apache yang didalamnya sudah tersedia *database* server MySQL dan dapat mendukung pemrograman PHP. XAMPP banyak diaplikasikan dan digunakan

oleh kalangan pengguna computer di bidang pemrograman web dan berfungsi sebagai server *offline* yang berdiri sendiri (*localhost*). XAMPP terdiri dari beberapa pemrograman yaitu Apache HTTP Server, MySQL Database, PHP, dan Pearl XAMPP juga dilengkapi fitur manajemen database PHPMyAdmin seperti pada server hosting sungguhan, sehingga pengembang web dapat mengembangkan aplikasi web berbasis database secara mudah<sup>[9]</sup>.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Program ini dimulai dengan melakukan uji kesesuaian pada pesawat sinar-x mamografi yang digunakan. Parameter uji yang dilakukan antara lain yaitu uji keakurasian tegangan dan uji linearitas keluaran radiasi, serta uji kualitas berkas radiasi (HVL) yang berperan dalam penentuan MGD (*Mean Glandular Dose*). Uji keakurasian tegangan dilakukan untuk memastikan bahwa tegangan yang diberikan pada panel pesawat sama dengan tegangan yang terbaca pada detektor dengan toleransi kesalahan sebesar 10%. Instrumen yang digunakan pada uji ini yaitu kVp meter, dalam hal ini menggunakan *Multi Purpose Detector* (MPD) jenis Barracuda. Uji linearitas dilakukan untuk memastikan bahwa keluaran radiasi linear dan berada pada rentang arus (mA) atau arus waktu (mAs) pada pesawat sinar-x mamografi yang digunakan. Pada uji ini, nilai yang menjadi tolak ukur yaitu koefisien linearitas dengan toleransi nilai < 0,1. Uji kualitas berkas radiasi (HVL) dilakukan untuk memastikan bahwa total filtrasi berkas sinar-x sesuai dengan persyaratan minimum standar. Instrumen yang digunakan pada uji ini yaitu dosimeter, filter aluminium, dan meteran. Semua uji ini dilakukan dengan menggunakan variabel tegangan (kV), arus waktu (mAs), dan kombinasi target anoda/filter sesuai penggunaan klinis yang biasa diterapkan.

Proses akuisisi data dilakukan dengan menggunakan pesawat sinar-x mamografi milik Rumah Sakit Umum Pemerintah Dr. Kariadi, Semarang. Pesawat yang digunakan merk Siemens MAMMOMAT<sup>®</sup> 3000 Nova dengan nomor seri 05952. Pesawat ini memiliki rentang set tegangan 23 – 35 kV, dan rentang set arus waktu 2 – 710 mAs (mAs – mode) dengan tabung sinar-x yang digunakan merupakan tabung anoda Molybdenum/Tungsten (P40 Mo/W). Sumber radiasi ke image (SID) berjarak 65 cm, dengan maksimal format film 18 cm x 24 cm. Dalam pengoperasiannya, kombinasi target anoda/filter yang biasa digunakan dalam penerapan klinis yaitu kombinasi W/Rh.

Penelitian dilakukan dengan cara pengambilan data langsung menggunakan *Multi Purpose Detector* (MPD) berjenis Barracuda. Detektor Barracuda ini merupakan jenis detektor yang dapat digunakan dalam pengukuran tegangan (kV), waktu, pulsa, *dose*, *dose rate*, *dose per pulse*, HVL, hingga bentuk gelombang. Detektor ini memiliki dimensi ukuran 110 x 55 x 13 mm dengan berat ± 250 gram.

Pengambilan data diawali dengan pengecekan posisi (*position check*) detektor terhadap fokus dengan posisi *cranio-caudal* dan jarak FDD sejauh 59,2 cm (detektor diletakkan sejauh 45 mm diatas meja

pemeriksaan dengan menggunakan *phantom* mamografi). Jika angka yang terbaca menunjukkan angka 1 (atau mendekati 1), maka dapat dilanjutkan dengan pemberian penyinaran. Variasi tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 23 – 31 kV dan variasi mAs 10 – 160 mAs. Pemberian ekposi dilakukan sebanyak satu kali untuk masing-masing variasi tegangan dan arus waktu.

Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software microsoft excel. Data yang diolah antara lain: nilai uji keakurasian tegangan, koefisien linearitas output, persamaan keluaran radiasi, estimasi nilai INAK (*Incident Air Kerma*) dan ESD (*Entrance Surface Dose*), serta evaluasi hasil prediksi dosis yang diperoleh. Setelah dilakukan proses evaluasi nilai dosis, selanjutnya dilakukan perancangan *Web Service*.

Perancangan *web service* dilakukan dengan menggunakan program XAMPP yang dimanfaatkan sebagai pendukung dalam pembuatan server local (*localhost*), sedangkan rancangan *database* sebagai basis informasi data dosis dibuat dengan menggunakan program MySQL Workbench 6.3 CE. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam pengembangan web ini adalah bahasa HTML (*Hypertext Markup Language*), Javascript, dan PHP (*Personal Home Page*), serta menggunakan software Notepad++ sebagai editor dalam pemrogramannya.

Tampilan Web dirancang menjadi empat bagian informasi, antara lain: Informasi Data Pasien, Informasi Data Pemeriksaan, Informasi Data Masukan, dan Informasi Dosis. Bagian pertama mengenai data pasien berisikan informasi mengenai nama pasien, NIK, umur, jenis kelamin, dan alamat pasien. Bagian kedua tentang data pemeriksaan berisikan informasi tanggal pemeriksaan, jenis pemeriksaan, dan posisi pemeriksaan pasien. Bagian ketiga berisikan informasi mengenai data masukan pemeriksaan yaitu jenis pesawat yang digunakan dan parameter masukan pesawat, seperti tegangan (kV), arus waktu (mAs), dan tebal kompresi payudara pasien (cm). Bagian keempat berisikan informasi mengenai hasil keluaran yang diperoleh, yaitu berupa besar *Incident Air Kerma* (INAK) dan *Mean Glandular Dose* (MGD) yang diterima oleh pasien. Informasi yang diinput dalam web ini kemudian akan dikumpulkan dalam suatu basis data yang sewaktu-waktu dapat dimanfaatkan dalam pemantauan jumlah dosis yang diterima pasien, sekaligus dapat digunakan sebagai informasi medis dalam penggunaan pesawat sinar-x mamografi dengan mengikuti syarat, ketentuan, dan aturan yang berlaku.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi nilai INAK (*Incident Air Kerma*) dan MGD (*Mean Glandular Dose*) yang diterima oleh pasien dalam pemeriksaan dengan menggunakan pesawat sinar-x mamografi. Dalam memprediksi nilai dosis yang akan diterima oleh pasien, program pengujian keakurasian tegangan dan uji linearitas keluaran radiasi, serta uji kualitas berkas radiasi (HVL) harus dilakukan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-x yang digunakan handal dengan parameter penyinaran pesawat yang

teruji dan sesuai dengan bacaan panel pada pesawat yang digunakan. Mengacu pada hasil pengolahan data yang telah dilakukan, untuk variasi tegangan antara 23 – 31 kV, diketahui bahwa tegangan yang ditunjukkan pada panel pesawat sinar-x mamografi yang digunakan memiliki kesesuaian terhadap hasil bacaan tegangan yang ditunjukkan oleh *multi purpose detector* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Akurasi Tegangan Pesawat Sinar – X Mamografi

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Detektor Rerata (kV)	Kesalahan Relatif (%)
23	22,21	3,42
25	25,43	1,74
27	27,63	2,33
29	29,36	1,23
31	32,09	3,50
<b>Kesalahan Rata-rata</b>		<b>2,44</b>

Berdasarkan hasil pada Tabel 1, kesalahan rata-rata yang ditunjukkan pada panel pesawat terhadap nilai bacaan pada detektor adalah sebesar 2,44%. Penyimpangan terkecil terjadi pada tegangan 29 kV dengan kesalahan sebesar 1,07% dan penyimpangan terbesar pada tegangan 23 kV dengan kesalahan sebesar 3,87%. Hasil ini menunjukkan bahwa penyimpangan tegangan panel pada pesawat sinar-x mamografi yang digunakan masih berada dalam batas toleransi, merujuk pada peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2011 dengan penyimpangan maksimum sebesar  $\pm 6\%$ .

Selanjutnya dilakukan evaluasi nilai koefisien linearitas *output* untuk memastikan bahwa keluaran radiasi yang dihasilkan oleh tabung sinar-x dengan nilai keluaran radiasi yang terbaca oleh detektor adalah linear. Variasi arus waktu (mAs) yang digunakan adalah sebesar 10 – 160 mAs, dengan keluaran dosis radiasi diukur untuk setiap masing-masing variasi tegangan yang digunakan yaitu 23, 25, 27, 29, dan 31 kV. Nilai koefisien linearitas yang dihasilkan untuk masing-masing tegangan yang digunakan terhadap variasi arus waktu 10, 20, 40, 80, dan 160 mAs ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.** Nilai Koefisien Linearitas Pesawat Sinar – X Mamografi

Tegangan Panel (kV)	Koefisien Linearitas (CL) < 0,1
23	0,019
25	0,017
27	0,021
29	0,012
31	0,008

Tabel 2 diatas menunjukkan hasil nilai koefisien linearitas pada pesawat sinar-x mamografi

yang digunakan untuk masing-masing set tegangan (kV) dengan variasi arus waktu sebesar 10, 20, 40, 80, dan 160 mAs. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa keluaran radiasi yang dihasilkan oleh pesawat adalah linear, dengan nilai koefisien linearitas yang dihasilkan  $< 0,1$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa pesawat sinar-x mamografi yang digunakan memiliki linearitas keluaran radiasi yang baik dan tidak melewati batas toleransi yang direkomendasikan yaitu sebesar 0,1 (10%).

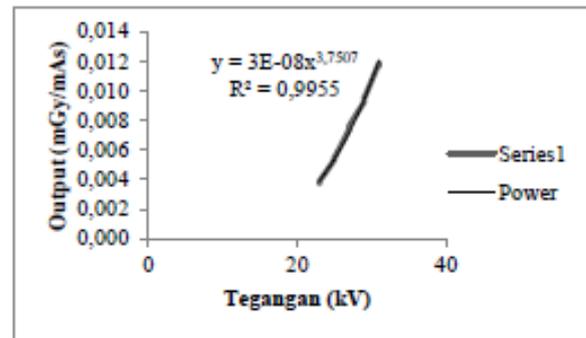
Dalam penentuan nilai MGD (*Mean Glandular Dose*) yang diterima oleh pasien, diperlukan informasi nilai tebal HVL yang diukur dengan parameter masukan yaitu variasi tegangan (kV) sebesar 23 – 31 kV dengan interval kenaikan 2 kV, dengan arus waktu (mAs) tetap yaitu sebesar 10 mAs. Kombinasi target anoda/filter yang digunakan adalah kombinasi W/Rh dimana mengacu pada penggunaan praktek klinis untuk pemeriksaan mamografi di RSUP Dr. Kariadi. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 3, nilai HVL yang diperoleh untuk kombinasi anoda/filter W/Rh pada masing-masing variasi tegangan masih berada dalam batas lolos uji yaitu  $(kVp/100) \leq HVL \leq (kVp/100 + c)$  dengan nilai  $c$  yaitu sebesar 0,3.

**Tabel 3.** Nilai HVL (*Half Value Layer*) untuk masing-masing set tegangan panel.

Tegangan Panel (kV)	HVL (mm Al)	Toleransi	
		Min HVL	Max HVL
23	0.48	0.26	0.53
25	0.49	0.28	0.55
27	0.51	0.30	0.57
29	0.53	0.32	0.59
31	0.55	0.34	0.61

Setelah memastikan bahwa pesawat yang digunakan handal dan teruji, perumusan dalam estimasi dosis dapat dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara nilai tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mAs) sehingga akan didapatkan persamaan keluaran radiasi  $Y(d)$  pada FDD yang digunakan untuk setiap pengaturan tegangan tabung (kV). Persamaan keluaran radiasi yang didapatkan merupakan fungsi dari kVp, dimana

pendekatan dilakukan dengan menggunakan persamaan *power (power function)*. Grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap nilai keluaran radiasi (mGy/mAs) dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



**Gambar 1.** Grafik hubungan antara tegangan (kV) Terhadap keluaran rafik radiasi yang ditunjukkan (mGy/mAs) pada.

Pada Gambar 1, terlihat bahwa semakin tinggi pengaturan tegangan (kV) yang diberikan pada suatu penyinaran, maka keluaran radiasi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Besar kenaikan keluaran radiasi tabung sinar-x dari pesawat mamografi yang digunakan ditunjukkan oleh persamaan 3 berikut.

$$y = 0,00000003 x^{3,7507} \quad (3)$$

Dimana  $y$  merupakan nilai output K (mGy/mAs) dan  $x$  adalah besar tegangan (kV). Besar konstanta yang diperoleh masing-masing adalah sebesar 0,00000003 dan 3,7507.

Mengacu pada persamaan keluaran radiasi yang diperoleh, maka besar nilai INAK (*Incident Air Kerma*) dapat ditentukan dengan mensubstitusikan persamaan keluaran radiasi  $y$  ke dalam persamaan. Sehingga, didapatkan persamaan INAK sebagai berikut:

$$K_i = (0,00000003 x^{3,7507}) P_{lt} \left( \frac{d}{d_{FDD} - t_p} \right)^2 \quad (4)$$

Dimana  $K_i$  adalah dosis insiden atau *incident air kerma* (mGy),  $x$  adalah besar tegangan (kV),  $P_{lt}$  adalah *tube loading* (mAs),  $d$  adalah jarak fokus ke detektor atau FDD (cm),  $d_{FDD}$  adalah jarak fokus ke meja pemeriksaan atau SID (cm), dan  $t_p$  adalah tebal kompresi (cm).

Prediksi MGD dapat dilakukan dengan mengalikan nilai INAK (*Incident Air Kerma*) yang diperoleh dengan faktor konversi. Nilai konversi dipengaruhi oleh nilai HVL, *prosentase* glandular, dan kombinasi target anoda/filter yang digunakan. Nilai HVL yang digunakan adalah nilai yang didapat dari hasil uji kualitas berkas radiasi pada tegangan 23, 25, 27, 29, dan 31 kV. Selanjutnya dilakukan interpolasi untuk mencari nilai HVL pada *range* tegangan yang digunakan pada pesawat yaitu sebesar 23 – 35 kV, dengan hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel A-4. Pada prediksi dosis MGD (*Mean Glandular Dose*) ini, *prosentase* glandular pasien diasumsikan sebesar 50%. Hasil dari prediksi MGD untuk tebal kompresi yang berbeda dapat dilihat pada tabel 4, tabel 5, dan tabel 6 dibawah ini.

**Tabel 4.** Nilai estimasi MGD untuk ketebalan kompresi 5,8 cm dan kombinasi anoda/filter W/Rh.

Tegangan Panel (kV)	Beban Pesawat (mAs)	Tebal Kompresi (cm)	MGD (mGy)
23	10 – 160	5,8	0,008 – 0,132
25	10 – 160	5,8	0,011 – 0,184
27	10 – 160	5,8	0,016 – 0,255
29	10 – 160	5,8	0,022 – 0,347
31	10 – 160	5,8	0,029 – 0,464

**Tabel 5.** Nilai estimasi MGD untuk ketebalan kompresi 4 cm dan kombinasi anoda/filter W/Rh.

Tegangan Panel (kV)	Beban Pesawat (mAs)	Tebal Kompresi (cm)	MGD (mGy)
23	10 – 160	4	0,011 – 0,177
25	10 – 160	4	0,015 – 0,246
27	10 – 160	4	0,021 – 0,340
29	10 – 160	4	0,029 – 0,459
31	10 – 160	4	0,038 – 0,611

**Tabel 6.** Nilai estimasi MGD untuk ketebalan kompresi 2 cm dan kombinasi anoda/filter W/Rh.

Tegangan Panel (kV)	Beban Pesawat (mAs)	Tebal Kompresi (cm)	MGD (mGy)
23	10 – 160	2	0,020 – 0,321
25	10 – 160	2	0,028 – 0,444
27	10 – 160	2	0,038 – 0,607
29	10 – 160	2	0,051 – 0,812
31	10 – 160	2	0,067 – 1,070

Setelah diperoleh hasil estimasi dosis INAK (*Incident Air Kerma*) dan MGD (*Mean Glandular Dose*), dilakukan evaluasi terhadap nilai dosis yang dihasilkan. Evaluasi nilai dosis ini dilakukan dengan cara melakukan perbandingan hasil antara nilai INAK hasil prediksi terhadap nilai INAK hasil bacaan *multi purpose detector* sebelumnya untuk jarak/tebal kompresi yang sama, seperti yang ditunjukkan pada tabel A-5 pada lampiran. Berdasarkan hasil pengolahan data, diperoleh besar kesalahan rata-rata antara dosis hasil prediksi dengan hasil bacaan detektor yaitu sebesar 3,10%, dengan perbedaan terkecil yaitu sebesar 0% dan perbedaan terbesar yaitu 8,91%. Sedangkan untuk evaluasi nilai MGD, merujuk pada hasil estimasi, diketahui bahwa semakin besar tebal kompresi yang diberikan pada pemeriksaan, maka nilai INAK pasien akan semakin besar, namun nilai MGD nya akan semakin kecil. Sebaliknya, semakin kecil tebal kompresi, nilai INAK juga akan semakin kecil, namun dosis glandular (MGD) nya akan semakin besar. Hasil ini sesuai dengan acuan literatur dan referensi yang ada, dimana semakin kecil tebal kompresi pasien, maka dosis glandular yang diterima akan semakin besar.

Dari hasil pengolahan dan analisis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa prediksi dosis INAK

(*Incident Air Kerma*) dan MGD (*Mean Glandular Dose*) dapat dibuat dari hasil uji kesesuaian, dengan terlebih dahulu memastikan bahwa parameter penyinaran pesawat sinar-x mamografi memiliki keluaran yang stabil.

Pada perancangan website, dilakukan pembuatan database dengan menggunakan alamat <http://localhost/phpmyadmin>. Setelah pembuatan database dengan mengisikan nama dan merancang struktur form isian yang digunakan, selanjutnya dilakukan pembuatan suatu indeks website dalam sebuah file `index.php`.

File `index.php` ini berisi script dan tata letak website beserta isinya dan link-link yang ada di dalam website, serta otomatis dibuka saat membuka website dengan memanggil nama domain website. Tanpa file ini, browser akan menampilkan file-file lain dalam bentuk tampilan folder, bukan tampilan website sesuai *design* yang telah dirancang. Dengan kata lain, `index.php` ini diibaratkan sebagai halaman utama yang digunakan dalam menampilkan data yang sudah tersimpan, sekaligus digunakan untuk menambahkan data baru. Untuk menginput dan menambahkan data baru ini, diperlukan suatu pemrograman baru yaitu `inputData.php` yang berperan dalam memasukkan informasi dengan banyak variable masukan. Hasil tampilan isian data dapat dilihat pada gambar B-1.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, tampilan informasi rekam dosis pasien ini memiliki empat bagian utama, yaitu: Informasi Data Pasien, Informasi Data Pemeriksaan, Informasi Data Masukan, dan Informasi Dosis Pasien. Pemrograman dalam perumusan dosis ini dimasukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Javascript. Proses dalam input data rekam dosis pasien ini diawali dengan pengisian form data pemeriksaan pasien seperti yang ditunjukkan dalam gambar B-1. Selanjutnya data ini akan disimpan dan di proses oleh koding `process.php`. Setelah diproses dan diolah, data ini kemudian akan disimpan ke dalam database MySQL dan akan ditampilkan pada halaman utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar B-2.

Berdasarkan Gambar B-2, dapat dilihat bahwa data yang ditampilkan antara lain: No, Nama, NIK, Umur, Jenis Kelamin, Alamat, Tanggal Pemeriksaan, Jenis Pemeriksaan, Posisi, Pesawat, Tegangan (kV), Arus Waktu (mAs), Tebal Objek (cm), INAK (mGy), dan Dosis (mGy). Selain ditampilkan pada halaman utama, informasi rekam dosis pasien yang telah disimpan juga dapat diakses pada <http://localhost/phpmyadmin> dengan nama database yang telah dibuat. Hasil dosis yang ditampilkan pada website menunjukkan hasil yang sama terhadap hasil perhitungan pada excel. Dalam pengembangannya, aplikasi rekam dosis berbasis web service ini masih sebatas lingkup server local (*localhost*). Implementasi dari program ini lebih lanjut dapat dilakukan dengan membeli *domain* dan melakukan *hosting* secara *online*.

## V. KESIMPULAN

Merujuk pada hasil dan analisa dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pesawat sinar-x mamografi yang digunakan memiliki parameter keluaran penyinaran yang stabil. Nilai

koefisien linearitas keluaran radiasi yang didapat menunjukkan hasil yang linear dengan nilai CL dari variasi tegangan berkisar antara 0,008 – 0,021. Berdasarkan pada hasil plot grafik hubungan antara tegangan (kV) terhadap output radiasi (mGy/mAs), diperoleh persamaan keluaran radiasi yaitu  $y=0,00000003x^{3,7507}$ . Persamaan ini disubstitusikan kedalam persamaan INAK sehingga dapat diprediksi nilai kerma udara yang diterima pasien, sedangkan nilai MGD dihitung dengan mengalikan nilai INAK terhadap faktor konversi dengan asumsi prosentase glandular pasien adalah sebesar 50%. Formula ini kemudian diterapkan pada aplikasi rekam dosis.

Berdasarkan hasil evaluasi dosis, perbandingan rata-rata yang ditunjukkan antara INAK hasil prediksi terhadap INAK hasil bacaan detektor adalah sebesar 3,10%. Dosis glandular yang diperoleh dari hasil estimasi untuk ketebalan kompresi 5,8 cm berkisar antara 0,008 – 0,464 mGy, sedangkan pada ketebalan kompresi 4 cm berkisar antara 0,011 – 0,611 mGy, dan untuk ketebalan kompresi 2 cm berkisar antara 0,020 – 1,070 mGy. Merujuk pada hasil yang didapat, aplikasi rekam dosis berbasis *web service* yang dirancang dapat beroperasi dengan baik.

Pada penelitian ini, referensi nilai konversi yang digunakan adalah untuk komposisi jaringan glandular/adiposa sebesar 50%, sehingga dalam penyempurnaan studi ini, disarankan untuk melakukan prediksi dosis glandular (MGD) dengan *prosentase* glandular yang bervariasi dari 0 – 100%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada bapak Rusmanto atas kesempatan, waktu dan bimbingannya, serta terima kasih kepada para pihak yang turut berperan dalam proses studi ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Republik Indonesia, PP No. 33 Tahun 2007, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, 2007.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir. 2016. Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Paparan Medik atau Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional. Jakarta: Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN.
- [3] Arifin, Zaenal. 2015. Prediksi Perhitungan Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan Mammografi Menggunakan Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan Propagasi Balik. *Jurnal Berkala Fisika*, Vol. 18 No. 4: 151 – 156.
- [4] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Panduan Penatalaksanaan Kanker Payudara. Indonesia: Komite Penanggulangan Kanker Nasional.
- [5] AAPM. 1977. Basic Quality Control in Diagnostic Radiology. USA: Diagnostic Radiology Committee Task Force on Quality Assurance Protocol.
- [6] BPTC. 2016. Modul Praktek Uji Kesesuaian. Semarang: Badan Pengelola Training Centre

Universitas Diponegoro.

- [7] Manuaba B. I. 2010. Pengukuran Entrance Surface Dose (ESD) pada Pemeriksaan Dada Computer Radiography (CR) dengan Beberapa Metode Pengukuran. Jakarta: Universitas Indonesia FMIPA.
- [8] Fajarini, Eunike Serfina. 2011. Estimasi Mean Glandular Dose Pada Mamografi Computed Radiography (CR). Jakarta: Universitas Indonesia FMIPA.
- [9] Handayani, H. (2008). Ilmu. Dipetik March 24, 2017, dari [ilmuti.org](http://ilmuti.org)



## PERANAN ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM MENJAMIN MUTU HASIL UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOGRAFI MOBILE

Endang Kunarsih<sup>1</sup>, Haendra Subekti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN

<sup>2</sup>Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir – BAPETEN

e-mail: e.kunarsih@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Dalam uji kesesuaian pesawat sinar-X, dilakukan pengukuran terhadap suatu besaran ukur menggunakan alat ukur. Hasil pengukuran akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil uji dan selanjutnya dibandingkan dengan suatu kriteria. Kegiatan membandingkan hasil uji dengan kriteria guna menetapkan keandalan pesawat sinar-X merupakan tindakan pengambilan keputusan yang berpotensi memiliki kesalahan apabila hasil uji hanya disajikan dalam nilai tunggal. Dalam makalah ini dilakukan telaah terkait peranan ketidakpastian pengukuran dalam menjaga mutu hasil uji dan peranannya sebagai bahan tinjauan dalam evaluasi hasil uji oleh tenaga ahli untuk meningkatkan keyakinan dalam menetapkan keandalan pesawat sinar-X. Sampel data yang digunakan adalah data hasil uji profisiensi laboratorium pengujian pesawat sinar-X tahun 2016. Terdapat variasi ketidakpastian pengukuran yang diperoleh dari setiap lembaga pengujian, misalnya untuk iluminasi antara 2,3% hingga 27,2%; untuk kualitas berkas antara 5,2% hingga 44,6%, untuk kebocoran wadah tabung antara 4,96% hingga 69,85%. Hasil telaah menunjukkan bahwa dengan melakukan estimasi ketidakpastian pengukuran maka lembaga pengujian dapat memiliki keyakinan yang lebih baik terhadap mutu hasil pengukurannya. Untuk dapat diterapkan secara efektif maka diperlukan regulasi yang mensyaratkan estimasi ketidakpastian pengukuran dalam pengujian pesawat sinar-X.

**Kata kunci:** ketidakpastian pengukuran, penjaminan mutu, uji kesesuaian

### ABSTRACT

*X-ray equipment compliance testing involves measuring a measurand using a measurement instrument. The result of measurement will be evaluated to obtain test results and then compared with some criteria. Comparing test results with criteria to determine the reliability of an X-ray equipment is a decision-making action that potentially have errors if the test results only presented in a single value. This paper examined the role of measurement uncertainty for maintaining the quality of test results and its role as a review material in the evaluation of test results by experts to increase confidence in determining the reliability of X-ray equipment. The data samples were taken from the test results of laboratory proficiency testing of X-ray equipment in 2016. There are variations of measurement uncertainty obtained from each testing laboratory, for example for illumination between 2.3% and 27.2%, for X-ray beam quality between 5.2% to 44.6%, and for leakage of tube containers between 4.96% to 69.85%. The results of the study show that estimating the measurement uncertainty makes the testing laboratory having a better confidence in the quality of the measurement results. In order to be applied effectively, requirement of measurement uncertainty should be explicitly stated in the regulation of diagnostic X-ray equipment testing.*

**Keywords:** uncertainty measurement, quality assurance, compliance testing

### I. PENDAHULUAN

Uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional (selanjutnya disebut dengan uji kesesuaian) merupakan salah satu program BAPETEN untuk menjamin keselamatan radiologi pasien. Program ini diadopsi dari standar IAEA dan berbagai praktik di beberapa negara, antara lain Australia, Kanada, dan Belgia. Uji kesesuaian dimaksudkan untuk menguji pesawat sinar-X yang digunakan di rumah sakit atau fasilitas kesehatan guna menentukan keandalan sesuai pemenuhan kriteria yang telah ditetapkan secara nasional.

Dalam melakukan suatu pengujian pesawat sinar-X, dilakukan pengukuran terhadap suatu besaran

ukur menggunakan alat ukur. Berdasarkan hasil pengukuran, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan hasil uji dan selanjutnya dibandingkan dengan suatu kriteria. Apabila hasil uji memenuhi kriteria yang telah ditentukan untuk keselamatan pesawat sinar-X, maka pesawat sinar-X tersebut dinyatakan andal. Potensi dampak negatif dari pesawat sinar-X yang tidak andal, antara lain dapat berupa paparan radiasi yang berulang untuk pasien (dengan kata lain pasien mendapatkan tambahan paparan radiasi yang tidak perlu diterima), paparan radiasi pada organ tubuh yang tidak menjadi fokus pemeriksaan dokter, dan paparan radiasi yang berlebih pada pasien dikarenakan ketidakstabilan sistem pesawat sinar-X atau kebocoran wadah tabung pesawat

sinar-X. Oleh karena itu, apabila pesawat sinar-X dinyatakan tidak andal, maka pesawat sinar-X tersebut dilarang untuk digunakan bahkan izin penggunaannya dapat dihentikan oleh BAPETEN.

Dalam melakukan pengukuran besaran fisis pesawat sinar-X, laboratorium uji kesesuaian (yang selanjutnya disebut sebagai lembaga pengujian) menggunakan beragam alat ukur baik tipe maupun merk-nya, namun secara umum memiliki fungsi yang kurang lebih sama. Penggunaan beragam alat ukur sedikit banyak memiliki kontribusi terhadap hasil ukur dan hasil uji.

Dengan demikian, penting bagi personil yang berkompetensi sebagai pelaksana pengujian maupun tenaga ahli untuk memahami konsep dasar pengukuran, batasan-batasan yang diperlukan dalam melakukan perhitungan dan lainnya. Aspek-aspek tersebut tercakup dalam bidang ketidakpastian pengukuran. Di sisi lain, Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional tidak mempertimbangkan potensi ketidakpastian pengukuran dalam menetapkan kriteria penerimaan. Hal tersebut mengakibatkan adanya potensi kesalahan pengambilan keputusan dalam menetapkan keandalan pesawat, ketika hasil ukur mendekati nilai batas kriteria penerimaan.

Dalam makalah ini akan disajikan peranan ketidakpastian pengukuran dalam menjaga mutu hasil uji agar penyajian data hasil uji betul-betul dapat dipertanggungjawabkan, terutama bagi lembaga pengujian yang telah menggunakan sistem manajemen mutu laboratorium berbasis ISO 17025, dan peranan ketidakpastian pengukuran sebagai bahan tinjauan dalam evaluasi hasil uji oleh tenaga ahli untuk meningkatkan keyakinan dalam menetapkan keandalan pesawat sinar-X.

## II. POKOK BAHASAN

### 1. Konsep dasar pengukuran

Pada dasarnya, kita berharap bahwa bahwa hasil pengukuran dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan, misalnya pada saat uji paparan radiasi, uji kontaminasi, dan uji kesesuaian. Namun demikian, apakah kita memiliki keyakinan bahwa hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menghasilkan keputusan yang benar secara teknis dan secara legal.

Berdasarkan definisi dari VIM [1], pengukuran merupakan serangkaian pengoperasian terhadap suatu obyek untuk menentukan nilai dari suatu besaran ukur. Secara umum, hasil pengukuran sebenarnya adalah pendekatan atau estimasi (taksiran) nilai terhadap besaran ukur. Untuk itu, pada setiap sertifikat kalibrasi alat ukur selalu diberikan informasi tentang nilai deviasi atau koreksi yang digunakan untuk memperoleh nilai benar (*true value*) dari suatu pengukuran dan disertai ketidakpastian pengukuran. Dengan adanya sertifikat kalibrasi yang valid maka dapat memberikan keyakinan pada hasil pengukuran.

### 2. Ketidakpastian pengukuran

Nilai benar besaran ukur dan kesalahan (*error*) pengukuran merupakan suatu nilai yang tidak dapat diketahui. Dalam melakukan pengukuran perlu

diperhatikan bahwa terdapat faktor-faktor yang mempunyai kontribusi pada penyimpangan hasil pengukuran terhadap nilai benar, antara lain adalah:

- kinerja alat ukur;
- penerapan metode pengujian/pengukuran;
- kinerja personil pelaksana; dan
- kondisi fisik lingkungan pada saat pengujian/pengukuran.

Parameter yang menyatakan suatu rentang dimana nilai benar dari besaran ukur tersebut diyakini berada didalamnya dengan tingkat kepercayaan tertentu disebut sebagai ketidakpastian pengukuran [2].

Dengan demikian, kondisi tersebut dapat diartikan bahwa hasil pengukuran kuantitatif tidak tepat apabila dilaporkan hanya berupa satu angka atau nilai tunggal saja. Hasil pengukuran yang berupa nilai tunggal tidak dapat diyakini bahwa nilai tersebut benar, namun akan lebih yakin apabila nilai tersebut berupa nilai perkiraan. Cara yang terbaik adalah dengan melaporkan rentang nilai yang merupakan batas-batas perkiraan yang mana nilai benar tersebut berada di dalam rentang tersebut, dengan kata lain adalah dengan melaporkan nilai ketidakpastian pengukuran. Sebagaimana diuraikan dalam KAN G-20 [3] dan ISO 17025 [4] bahwa dalam pengujian yang menghasilkan nilai numerik (atau hasil yang dilaporkan berdasarkan pada hasil numerik) harus dilakukan estimasi ketidakpastian terhadap hasilnya. Hal ini diberlakukan baik untuk metode pengujian rasional maupun empiris.

Berdasarkan definisi pada VIM [1], kesalahan (*error*) pengukuran adalah perbedaan antara hasil pengukuran dengan nilai benar. Sebagaimana disebutkan di atas bahwa apabila nilai benar tidak diketahui, maka kesalahan pengukuran juga tidak dapat diketahui dengan pasti. Berdasarkan penggolongannya, kesalahan pengukuran dapat dibagi menjadi 2 (dua) yaitu kesalahan acak dan kesalahan sistematis [2].

Kesalahan acak (*random error*) adalah kesalahan yang bersumber dari variasi yang bersifat acak dan dapat terjadi diluar kendali personil yang melakukan pengukuran. Faktor kesalahan acak ini dapat dikurangi dengan melakukan banyak pengulangan pengukuran. Kesalahan acak ini dikenal sebagai ketidakpastian tipe A.

Kesalahan sistematis (*systematic error*) merupakan kesalahan yang bersifat konstan atau dapat bervariasi, adalah kesalahan yang bersumber dari alat ukur, model matematis, atau sumber lainnya yang bersifat sistemik. Kesalahan ini tidak dapat dikurangi dengan cara pengulangan pengukuran, namun dapat diperbaiki melalui penentuan nilai koreksi. Pada prinsipnya kita tidak bisa mengelak dari adanya ketidakpastian pada kesalahan sistematis ini. Apabila faktor kesalahan ini dapat diketahui, akan bermanfaat karena dapat digunakan untuk koreksi hasil pengukuran. Kesalahan sistematis ini dikenal sebagai ketidakpastian tipe B.

### 3. Estimasi ketidakpastian pengukuran

Berdasarkan dua sumber kesalahan pengukuran yang diuraikan di atas, ketidakpastian pengukuran dapat ditaksir melalui pengamatan terhadap perilaku besaran ukur selama proses pengukuran dilakukan. Dengan

pendekatan sistematis, secara garis besar estimasi ketidakpastian pengukuran adalah mengkuantitasikan kesalahan pengukuran dan mengkombinasikan (menggabungkan) kesalahan pengukuran tersebut. Langkah estimasi ketidakpastian meliputi [3]:

- penetapan model matematis;
- identifikasi sumber (kontributor) ketidakpastian;
- menentukan ketidakpastian baku;
- penggabungan ketidakpastian baku; dan
- perhitungan ketidakpastian yang diperluas.

Setelah diperoleh nilai ketidakpastian yang diperluas (*expanded uncertainty*), hasil uji disajikan dalam format: nilai hasil uji  $\pm$  ketidakpastian, atau nilai hasil uji  $\pm$  ketidakpastian relatif.

#### 4. Pengujian pesawat sinar-X radiografi mobile

Sebagaimana diuraikan dalam Perka BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011 Pasal 5 ayat 4 bahwa parameter pengujian yang secara langsung mempengaruhi dosis radiasi pasien dan menentukan kelayakan operasi pesawat sinar-X terhadap pasien, khususnya jenis radiografi mobile, meliputi [5]:

- kolimasi berkas sinar-X, terdiri dari iluminasi dan selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X;
- kualitas berkas sinar-X;
- reproduksibilitas penyinaran;
- kebocoran wadah tabung pesawat sinar-X; dan
- informasi dosis atau laju dosis radiasi yang diterima pasien.

Sejalan dengan Pasal 5 ayat 4, Pasal 30 ayat 3 menyatakan bahwa apabila hasil uji salah satu parameter di atas tidak lolos kriteria maka pesawat sinar-X dinyatakan tidak andal. Kriteria lolos uji untuk masing-masing parameter uji disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter Uji dan Nilai Lolos Uji

No.	Parameter	Nilai lolos uji
1.	Iluminasi (E)	$E \geq 100$ lux
2.	Selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X ( $\Delta X$ , $\Delta Y$ )	$\Delta X \leq 2\%$ SID $\Delta Y \leq 2\%$ SID $\Delta X + \Delta Y \leq 3\%$ SID
3.	Kualitas berkas sinar-X (HVL)	$HVL \geq 2,3$ mmAl (pada 80 kVp)
4.	Reproduksibilitas penyinaran (CV)	$CV \leq 0,05$
5.	Kebocoran wadah tabung pesawat sinar-X (L)	$L \leq 1$ mGy dalam 1 jam
6.	Informasi dosis atau laju dosis radiasi yang diterima pasien (ESD)	$ESD_{abdomen} \leq 0,4$ mGy $ESD_{thorax} \leq 10$ mGy

Kegiatan membandingkan hasil uji dengan kriteria/nilai lolos uji untuk menetapkan keandalan pesawat sinar-X merupakan tindakan pengambilan keputusan yang berpotensi memiliki kesalahan apabila hasil uji hanya disajikan dalam nilai tunggal. Sebagai contoh, pada uji iluminasi berkas cahaya lampu kolimasi diperoleh nilai iluminasi dari pesawat sinar-X yang berbeda masing-masing sebesar 99,8 lux dan 100 lux. Berdasarkan nilai lolos uji pada Tabel 1, pesawat sinar-X dengan iluminasi 99,8 lux akan dinyatakan tidak

andal, dan pesawat sinar-X dengan iluminasi 100 lux akan dinyatakan andal. Padahal, apabila dilihat secara visual, kedua berkas cahaya lampu kolimasi tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

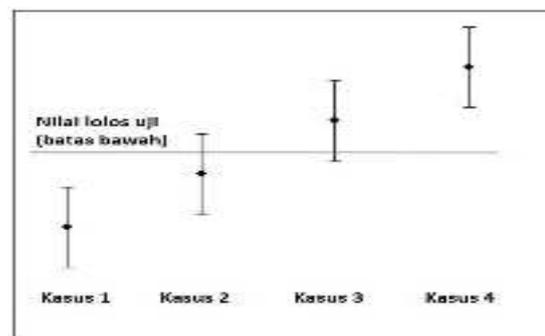
#### 5. Interpretasi (evaluasi) hasil uji terhadap batas spesifikasi

Hingga saat ini, lembaga penguji tidak disyaratkan untuk menyertakan nilai estimasi ketidakpastian pengukuran dalam laporan hasil uji. Sebagai konsekuensi, BAPETEN melakukan evaluasi hanya berdasarkan nilai tunggal dalam laporan hasil uji.

ILAC-G8:03/2009 [6] memberikan panduan untuk menyatakan kepatuhan (lolos uji) atau ketidakpatuhan (tidak lolos uji) terhadap batas spesifikasi dengan ilustrasi pada Gambar 1, yaitu:

- Kepatuhan (lolos uji): Apabila batas spesifikasi dilampaui oleh nilai hasil uji dikurangi nilai ketidakpastian yang diperluas dengan probabilitas cakupan 95%. Lihat ilustrasi pada Gambar 1 kasus 4.
- Ketidakpatuhan (tidak lolos uji): Apabila batas spesifikasi tidak dilampaui oleh nilai hasil uji ditambah nilai ketidakpastian yang diperluas dengan probabilitas cakupan 95%. Lihat ilustrasi pada Gambar 1 kasus 1.
- Apabila nilai hasil uji ditambah/dikurangi nilai ketidakpastian yang diperluas dengan probabilitas cakupan 95% memotong (*overlap*) batas spesifikasi, maka tidak dimungkinkan untuk menyatakan kepatuhan (lolos uji) atau ketidakpatuhan (tidak lolos uji). Lihat ilustrasi pada Gambar 1 kasus 2 dan kasus 3. Untuk kasus 3, dalam laporan hasil uji dapat dituliskan *tidak dimungkinkan menyatakan kepatuhan (lolos uji) menggunakan probabilitas cakupan 95% untuk ketidakpastian yang diperluas meskipun nilai hasil uji memenuhi batas spesifikasi*. Kasus 2 dipertanyakan sama dengan kasus 3, meskipun hasil uji tidak memenuhi batas spesifikasi.

ILAC-G8:03/2009 [6] memberikan catatan bahwa dalam hal peraturan perundang-undangan mensyaratkan pengambilan keputusan untuk menolak atau menyetujui hasil uji untuk setiap kasus pada Gambar 1 maka kasus 4 dinyatakan memenuhi, kasus 3 dapat dinyatakan memenuhi, kasus 2 dapat dinyatakan tidak memenuhi, dan kasus 1 dinyatakan tidak memenuhi.



**Gambar 1.** Kepatuhan terhadap nilai lolos uji

Apabila hasil uji memiliki beberapa besaran ukur (parameter uji), maka hasil evaluasi kepatuhan terhadap spesifikasi dapat dinyatakan dengan:

- Semua nilai parameter uji memenuhi batas spesifikasi. Ini mewakili kasus 4.
- Untuk beberapa nilai parameter uji, tidak dimungkinkan untuk menyatakan memenuhi batas spesifikasi. Ini mewakili situasi kasus 2 dan kasus 3.
- Beberapa nilai parameter uji tidak memenuhi batas spesifikasi. Ini mewakili kasus 1.

### III. METODOLOGI

Telah dilakukan pengujian pesawat sinar-X dengan obyek uji pesawat sinar-X radiografi mobile di Laboratorium Uji Kesesuaian BAPETEN. Uji dilakukan oleh berbagai lembaga penguji yang telah ditunjuk oleh BAPETEN. Tiap lembaga penguji melakukan pengujian menggunakan peralatan masing-masing. Metode uji dan lembar kerja untuk pengambilan data dan perhitungan telah disediakan oleh BAPETEN. Kondisi lingkungan di ruang pengujian dikendalikan pada suhu  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  dan kelembaban  $(65 \pm 5)\%$ . Pelaksanaan uji dilakukan pada Mei 2016. Parameter uji yang menjadi lingkup pembahasan dalam makalah ini adalah:

- iluminasi berkas cahaya;
- kualitas berkas sinar-X;
- kebocoran wadah tabung; dan
- informasi dosis pasien.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian akan disajikan untuk tiap parameter uji berikut ini.

- Iluminasi (E)

Hasil uji iluminasi (E) diperoleh dari perhitungan berkas cahaya kolimasi dikurangi cahaya latar, dengan persamaan:

$$E_{\text{netto}} = \overline{E}_c - \overline{E}_{bc} \quad (\text{Persamaan 1})$$

dengan:

$$\begin{aligned} E_{\text{netto}} &= \text{iluminasi berkas cahaya netto} \\ \overline{E}_c &= \text{rerata iluminasi cahaya kolimasi terkoreksi} \\ \overline{E}_{bc} &= \text{rerata iluminasi latar terkoreksi} \end{aligned}$$

Kontributor ketidakpastian pengukuran yang berpengaruh dalam pengukuran ini adalah pengulangan pengukuran, sertifikat kalibrasi lightmeter, dan resolusi lightmeter.

Hasil uji iluminasi dari lembaga penguji termasuk laboratorium acuan ditampilkan dalam Tabel 2. Hasil uji peserta memberikan variasi baik pada hasil maupun pada ketidakpastian pengukuran. Hasil uji memiliki rentang antara 156,5 lux sampai dengan 193 lux, dan ketidakpastian pengukuran memiliki rentang 3,6 lux (2,3%) sampai dengan 46,7 lux (27,2%).

**Tabel 2.** Hasil uji iluminasi dan ketidakpastiannya

No.	ID Lab	Hasil (lux)	Ketidak-pastian	Ketidak-pastian relatif
1.	LP-acuan	156,5	3,6	2,3%
2.	LP-15	181,3	9,0	4,9%

No.	ID Lab	Hasil (lux)	Ketidak-pastian	Ketidak-pastian relatif
3.	LP-16	175,6	9,6	5,5%
4.	LP-11	189,3	10,5	5,5%
5.	LP-1	172,7	11,6	6,7%
6.	LP-5	169,5	16,8	9,9%
7.	LP-4	170,6	18,4	10,8%
8.	LP-9	179,9	21,5	11,9%
9.	LP-14	172,9	21,9	12,7%
10.	LP-2	176,6	41	23,1%
11.	LP-8	167,5	45,5	27,2%
12.	LP-12	193,0	46,7	24,2%
	Min	156,5	3,6	2,3%
	Max	193	46,7	27,2%

Variasi hasil dapat disebabkan oleh penggunaan lightmeter yang berbeda dan titik pengukuran (lantai atau meja) yang berbeda. Variasi pada ketidakpastian pengukuran disebabkan oleh pengaruh sertifikat kalibrasi, pengulangan pengukuran, dan resolusi lightmeter. Secara umum hasil uji setiap peserta menyatakan bahwa pesawat sinar-X mobile memenuhi kriteria lolos uji yaitu  $E \geq 100$  lux.

- Kualitas berkas sinar-X (HVL)

Hasil uji kualitas berkas sinar-X (HVL) diperoleh dari perhitungan hasil ukur kerma udara pada kondisi tanpa filter dan dengan filter Al pada ketebalan sebelum dan sesudah dicapainya separo dari nilai kerma udara tanpa filter, dengan persamaan:

$$HVL = \frac{d_2 \ln(2K_1/K_0) - d_1 \ln(2K_2/K_0)}{\ln(K_1/K_2)} \quad (\text{Persamaan 2})$$

dengan:

HVL = nilai filtrasi yang menghasilkan setengah dari kerma tanpa filtrasi

$K_0$  = kerma terkoreksi, tanpa menggunakan filter

$K_1$  = kerma terkoreksi, pada saat sebelum nilai  $K = \frac{1}{2}K_0$

$K_2$  = kerma terkoreksi, pada saat sesudah nilai  $K = \frac{1}{2}K_0$

$d_1$  = ketebalan filter pada kerma  $K_1$

$d_2$  = ketebalan filter pada kerma  $K_2$

Kontributor ketidakpastian pengukuran yang berpengaruh dalam pengukuran ini adalah sertifikat kalibrasi dosimeter dan resolusi dosimeter. Sebagai catatan ketebalan filter Al tidak diperhitungkan sebagai kontributor ketidakpastian pengukuran karena tidak tersedianya data dukung yang bisa dipertanggungjawabkan.

Hasil uji HVL dari lembaga penguji termasuk laboratorium acuan ditampilkan dalam Tabel 3. Hasil uji peserta memberikan variasi baik pada hasil maupun pada ketidakpastian pengukuran. Hasil uji memiliki rentang antara 2,92 mmAl sampai dengan 3,34 mmAl, dan ketidakpastian pengukuran memiliki rentang 0,16 mmAl (5,2%) sampai dengan 1,40 mmAl (44,6%).

**Tabel 3.** Hasil uji kualitas berkas sinar-X dan ketidakpastiannya

No.	ID Lab	Hasil (mm Al)	Ketidak-pastian	Ketidak-pastian relatif
1.	LP-8	3,14	0,16	5,2%
2.	LP-acuan	3,20	0,19	5,9%
3.	LP-7	3,14	0,20	6,3%
4.	LP-16	3,14	0,21	6,7%
5.	LP-1	2,92	0,22	7,6%
6.	LP-5	3,09	0,23	7,4%
7.	LP-6	3,01	0,27	9,0%
8.	LP-13	3,34	0,28	8,5%
9.	LP-11	3,27	0,32	9,7%
10.	LP-14	3,13	0,32	10,3%
11.	LP-12	3,20	0,34	10,6%
12.	LP-2	3,04	0,35	11,4%
13.	LP-4	3,15	1,40	44,6%
	Min	2,92	0,16	5,2%
	Max	3,34	1,40	44,6%

Catatan: kondisi eksposi 81 kVp, 10 mAs

Variasi hasil dapat disebabkan oleh penggunaan jenis X-ray dosimeter yang berbeda. Sebagai informasi, variasi hasil juga dapat disebabkan filter Al yang digunakan juga berbeda-beda. Tidak semua filter Al yang digunakan dilengkapi sertifikat material untuk memastikan spesifikasinya sama.

Variasi pada ketidakpastian pengukuran disebabkan oleh pengaruh sertifikat kalibrasi dan resolusi X-ray dosimeter. Secara umum hasil uji setiap peserta menyatakan bahwa pesawat sinar-X mobile memenuhi kriteria lolos uji yaitu  $HVL \geq 2,3$  mmAl.

#### c) Kebocoran wadah tabung (L)

Hasil uji kebocoran wadah tabung (L) diperoleh dari perhitungan hasil ukur paparan radiasi pada jarak 1 meter dari tabung dengan persamaan:

$$L = \dot{D}c \times \frac{I_{cont}}{I_{tset}} \times t \quad (\text{Persamaan 3})$$

dengan:

L = laju dosis kebocoran

$\dot{D}c$  = laju dosis terkoreksi

$I_{cont}$  = kuat arus kontinu pesawat sinar-X

$I_{tset}$  = *setting* kuat arus waktu saat eksposi dilakukan

t = waktu eksposi yang terbaca pada alat ukur.

Kontributor ketidakpastian pengukuran yang mempengaruhi pengukuran ini adalah pengulangan pengukuran, sertifikat kalibrasi surveymeter, resolusi surveymeter, resolusi *setting* mAs. Sebagai catatan waktu eksposi tidak diperhitungkan dalam kontributor ketidakpastian pengukuran karena tidak tersedianya data dukung yang bisa dipertanggungjawabkan.

Hasil uji kebocoran dari lembaga penguji termasuk laboratorium acuan ditampilkan dalam Tabel 4. Hasil uji peserta memberikan variasi baik pada hasil maupun pada ketidakpastian pengukuran. Hasil uji memiliki rentang antara 0,0000 mGy/jam sampai dengan 6,0716 mGy/jam dan ketidakpastian pengukuran

memiliki rentang 0,0002 mGy/jam (4,96%) sampai dengan 1,5 mGy/jam (69,846%).

**Tabel 4.** Hasil uji kebocoran wadah tabung (L) dan ketidakpastiannya

No.	ID Lab	Hasil (mGy/jam)	Ketidak-pastian	Ketidak-pastian relatif
1.	LP-6	0,0039	0,0002	4,96%
2.	LP-14	0,0271	0,0012	4,51%
3.	LP-1	0,0020	0,0014	67,65%
4.	LP-11	0,0000	0,0014	3885,85%
5.	LP-4	0,0005	0,0018	351,14%
6.	LP-acuan	0,1377	0,0023	1,65%
7.	LP-2	0,0588	0,0064	10,87%
8.	LP-8	0,4513	0,0160	3,55%
9.	LP-16	0,0018	0,0167	921,10%
10.	LP-5	0,0039	0,0298	769,42%
11.	LP-15	6,0716	0,6644	10,94%
12.	LP-12	0,0022	1,5034	69846,32%
	Min	0,0000	0,0002	1,6%
	Max	6,0716	1,5034	69846,3%

Catatan: kondisi eksposi 109 kVp, 20 mAs

Secara umum hasil uji memberikan hasil bahwa pesawat sinar-X lolos uji karena di bawah nilai lolos 1 mGy/jam, kecuali satu peserta mendapatkan hasil di atas 1 mGy/jam (tidak lolos). Namun demikian, 9 peserta mendapatkan nilai kecil di bawah 0,1 mGy/jam, bahkan ada yang bernilai nol.

Variasi hasil ini disebabkan oleh jenis alat ukur yang digunakan memiliki waktu respon yang berbeda-beda. Sedangkan variasi ketidakpastian pengukuran disebabkan terutama oleh nilai ketidakpastian surveymeter dan resolusinya.

#### d) Informasi dosis pasien (ESD)

Hasil uji informasi dosis pasien (ESD) diperoleh dari pengukuran kerma udara pada ketinggian tertentu dari meja, dengan persamaan:

$$ESD = K \times BSF \quad (\text{Persamaan 4})$$

dengan:

ESD = Dosis pasien

K = Kerma udara terkoreksi

BSF = *Back scattering factor*

Kontributor ketidakpastian pengukuran yang mempengaruhi dalam pengukuran ini adalah pengulangan pengukuran, sertifikat kalibrasi X-ray dosimeter, dan resolusi X-ray dosimeter.

Hasil uji ESD dari lembaga penguji termasuk laboratorium acuan ditampilkan dalam Tabel 5. Hasil uji peserta memberikan variasi baik pada hasil maupun pada ketidakpastian pengukuran. Hasil uji memiliki rentang antara 0,5380 mGy sampai dengan 0,5647 mGy, dan ketidakpastian pengukuran memiliki rentang 0,0001 mGy (0,02%) sampai dengan 0,0285 mGy (5,22%).

**Tabel 5.** Hasil uji informasi dosis pasien (ESD) dan ketidakpastiannya

No.	ID Lab	Hasil (mGy)	Ketidak-pastian	Ketidak-pastian relatif
1.	LP-14	0,5431	0,0001	0,02%
2.	LP-16	0,5405	0,0006	0,11%
3.	LP-6	0,5477	0,0008	0,15%
4.	LP-8	0,5380	0,0009	0,18%
5.	LP-1	0,5647	0,0010	0,17%
6.	LP-15	0,5494	0,0010	0,19%
7.	LP-2	0,5490	0,0014	0,26%
8.	LP-13	0,5489	0,0034	0,61%
9.	LP-acuan	0,5525	0,0071	1,28%
10.	LP-7	0,5406	0,0117	2,16%
11.	LP-11	0,5454	0,0285	5,22%
	Min	0,5380	0,0000	0,00%
	Max	0,5647	0,0285	5,22%

Catatan: kondisi eksposi 70 kVp, 20 mAs

Variasi hasil pada uji dosis pasien relatif tidak signifikan, dan memberikan hasil bahwa pesawat sinar-X tidak lolos uji karena nilai dosis pasien melebihi 0,4 mGy untuk penyinaran thorak. Variasi pada ketidakpastian pengukuran relatif tidak signifikan kecuali pada 2 (dua) data terbawah.

Dengan membandingkan dan mengamati hasil yang disajikan dalam ke-4 tabel di atas dapat ditarik pemahaman bahwa tidak ada satupun hasil pengujian pesawat sinar-X memberikan hasil yang mutlak sama meskipun masing-masing pengujian tersebut dilakukan dengan metoda yang sama persis. Artinya, ketidakpastian pengukuran tidak bisa dihindarkan dalam hasil pengujian pesawat sinar-X ini. Padahal hasil uji kesesuaian tersebut akan digunakan untuk menentukan status lolos uji pesawat sinar-X yang mana dapat menyebabkan pesawat sinar-X boleh dioperasikan atau dilarang digunakan untuk pelayanan pasien. BAPETEN selaku pengguna hasil uji tersebut berpotensi salah mengambil keputusan apabila hasil uji tidak dapat dipastikan mutu dan keakuratannya. Beberapa situasi yang mungkin terjadi dalam hasil uji di atas antara lain:

- Situasi 1: hasil uji sesuai dan ketidakpastian pengukuran kecil;
- Situasi 2: hasil uji sesuai dan ketidakpastian pengukuran besar;
- Situasi 3: hasil uji tidak sesuai dan ketidakpastian pengukuran kecil; dan
- Situasi 4: hasil uji tidak sesuai dan ketidakpastian pengukuran besar,

Situasi 1 paling ideal dan pengambilan keputusan lolos uji atau tidak lolos uji akan memberikan keyakinan lebih besar.

Dalam penyelenggaraan uji banding antar lembaga pengujian pesawat sinar-X tahun 2016, diperoleh fenomena bahwa pengukuran yang memiliki ketidakpastian pengukuran besar mendapat keuntungan yaitu hasil ujinya akan masuk dalam kategori memuaskan (Catatan: metode evaluasi menggunakan bilangan En). Tentu saja situasi ini harus diperbaiki dan dianalisis penyebab besarnya ketidakpastian

pengukuran. Penyelenggara uji profisiensi, dalam hal ini BAPETEN, dapat memberikan persyaratan tambahan untuk evaluasi kinerja peserta uji profisiensi, yaitu menetapkan nilai ketidakpastian pengukuran relatif, misalnya 20% atau 25%. Dengan penetapan nilai tersebut, evaluasi kinerja menggunakan bilangan En akan mendapatkan hasil yang lebih adil.

Variasi pada hasil ukur dan variasi pada ketidakpastian pengukuran sangat dipengaruhi alat ukur yang digunakan dan kestabilan obyek uji. Dalam menjamin mutu hasil pengujian pesawat sinar-X, direkomendasikan agar setiap lembaga pengujian menghitung estimasi ketidakpastian pengukuran untuk memastikan keyakinan pada hasil uji. Ketidakpastian pengukuran dapat menjadi indikator meningkatnya atau menurunnya akurasi hasil uji.

Untuk itu BAPETEN perlu mensyaratkan implementasi estimasi ketidakpastian pengukuran dalam pengujian pesawat sinar-X melalui regulasi. Seperti contohnya pada Perka BAPETEN Nomor 11 tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksternal yang mana didalamnya terdapat kebijakan BAPETEN untuk memastikan hasil evaluasi dosis oleh laboratorium dengan membatasi ketidakpastian pengukuran relatif maksimum 30%.

Bagi lembaga pengujian yang telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) dengan lingkup pengujian pesawat sinar-X, estimasi ketidakpastian pengukuran pasti telah diimplementasikan dengan baik. Namun hingga saat ini baru 5 (lima) dari 38 (tiga puluh delapan) lembaga pengujian yang ditunjuk BAETEN telah diakreditasi oleh KAN. Oleh karena itu, dengan adanya regulasi yang mengatur implementasi estimasi ketidakpastian pengukuran, diharapkan agar lembaga pengujian yang lain juga memahami dan menerapkan estimasi ketidakpastian pengukuran dalam pengujian sinar-X.

Dikaitkan dengan nilai lolos uji sebagai kriteria, BAPETEN u.p. Tenaga Ahli harus memiliki informasi ketidakpastian pengukuran agar dapat memberikan justifikasi teknis terhadap keandalan pesawat sinar-X. Untuk itu penting bahwa nilai ketidakpastian pengukuran harus dilaporkan kepada BAPETEN dalam laporan hasil uji. Untuk mendukung hal tersebut, selain regulasi, BAPETEN perlu menerbitkan pedoman estimasi ketidakpastian pengukuran pengujian pesawat sinar-X untuk digunakan lembaga pengujian dalam menentukan budget ketidakpastian pengukuran.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

- Dengan melakukan perhitungan/estimasi nilai ketidakpastian pengukuran maka laboratorium dapat:
  - menginterpretasikan hasil pengukuran dengan lebih baik.
  - memiliki acuan untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran.
  - memiliki indikator mutu pengukuran.
- Laporan hasil uji pesawat sinar-X sebaiknya juga memuat estimasi ketidakpastian pengukuran untuk meningkatkan keyakinan pada hasil uji.

3. Diperlukan regulasi untuk mensyaratkan estimasi ketidakpastian pengukuran dalam pengujian pesawat sinar-X agar dapat diimplementasikan secara efektif.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BIPM (2012), JCGM 200:2012, International Vocabulary of Metrology (VIM) – Basic And General Concepts And Associated Terms, 3rd edition.
- [2] BIPM (2008), JCGM 100:2008, Evaluation of Measurement Data — Guide To The Expression of Uncertainty In Measurement, 1st edition.
- [3] KAN (2016), KAN-G-20, Interpretation and Guidance on The Estimation Of Uncertainty Measurement In Testing.
- [4] BSN (2008), SNI ISO/IEC 17025:2008 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi.
- [5] BAPETEN (2011), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [6] ILAC (2009), ILAC-G8:03/2009, Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification.
- [7] KAN (2016), KAN-G-01, KAN Guide on The Evaluation And Expression of Uncertainty in Measurement.
- [8] KAN (2008), KAN-G-06, KAN Guide on Measurement Assurance
- [9] KAN (2008), KAN-G-07, Pedoman KAN mengenai Interpretasi ISO/IEC 17025:2005



## PENENTUAN SETTING PENYINARAN PESAWAT SINAR-X UNTUK MENDAPATKAN KUALITAS CITRA TINGGI DENGAN DOSIS RENDAH PADA RADIOGRAFI DADA MENGGUNAKAN NILAI RASIO CNR

**Wawan Susanto**

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN

e-mail: [wawan.sst@gmail.com](mailto:wawan.sst@gmail.com)

### ABSTRAK

Tujuan kajian ini adalah penentuan setting terbaik untuk mendapatkan kualitas citra yang tinggi dengan penerimaan dosis radiasi yang rendah pada fantom dada menggunakan sistem radiografi umum dan *computed radiografi*. Di dalam kajian ini digunakan nanodot untuk mengukur dosis radiasi pada fantom di lokasi yang ditentukan dengan beberapa variasi parameter. Kajian ini menggunakan 2 prosedur yaitu variasi kVp dengan arus (mA) dan waktu ekspose (t) tetap dan variasi arus (mA) dengan waktu (t) dan tegangan (kVp) tetap. Setelah mendapatkan setting kVp terbaik untuk mendapatkan kualitas gambar tinggi pada prosedur 1. Parameter kualitas gambar dalam CNR (*contrast noise ratio*) dan dosis dalam sievert akan di evaluasi dalam kajian ini. Semua hasil pada setiap setting parameter di analisis. Berdasarkan pada hasil kajian didapatkan setting terbaik pada 100 kVp, 200 mA dan 0,1 detik dengan nilai dosis 0,76 mSv dan CNR 7,94. Hasil ini hanya berlaku untuk setting yang dipilih pada kajian ini.

**Kata kunci:** pengukuran, parameter, dosis, CNR.

### ABSTRACT

*The purpose of this assessment is to determine the best optimum setting for getting the highest image quality with lowest dose radiation received by the chest phantom using general radiography system and computed radiography (CR) system. In the study nanodot were used to measure the radiation dose on the phantom at a certain location with variation of exposure parameters. The study involved two procedures which are varies kVp with fix mA, exposure time and others parameter for procedure 1. Then followed with second procedure by varies of mA and fix others parameter after getting the best setting of kVp to get highest image quality in procedure 1. The images quality parameter in term of contrast noise ratio (CNR) and dose in sievert unit were evaluated in the study. All the results at those setting parameters were analyzed. Based on the results the best optimum setting is at 100 kVp, 200 mA and 0.1 s with dose 0.760 mSv and CNR 7.94. This is only valid for the settings selected in the study.*

**Keywords:** measurement, parameters, dose, CNR.

## I. PENDAHULUAN

Banyak penemuan monumental diciptakan oleh manusia, salah satunya penemuan teknologi sinar-X yang ditemukan atas ketidaksengajaan dari kecelakaan.

Penemuan sinar-X oleh Roentgen memicu salah satu kemajuan medis terpenting dalam sejarah manusia. Teknologi sinar-X memiliki kelebihan yang bisa dilihat secara langsung melalui jaringan manusia untuk memeriksa tulang yang patah, rongga dan benda yang tertelan dengan mudah oleh seorang dokter radiologi melalui pencitraan.

Selain keunggulan di atas, ada kelemahan atau risiko yang terkait dengan penggunaan pencitraan sinar-X, yaitu menggunakan radiasi pengion untuk menghasilkan citra tubuh. Radiasi pengion adalah bentuk radiasi yang berpotensi memiliki energi yang cukup menyebabkan kerusakan DNA. Untuk mencegah radiasi/paparan yang tidak perlu diberikan pada pasien, maka setiap pemeriksaan dengan menggunakan radiasi pengion harus dibenarkan oleh dokter. Artinya manfaat dari pencitraan sinar-X jauh lebih besar daripada potensi risiko bahaya dari jumlah radiasi yang digunakan.

Dalam teknik pencitraan sinar-X, parameter pemaparan seperti tegangan (kV) menentukan daya tembus sinar-X, arus (mA) dan waktu (s) menentukan intensitas atau kadar sinar-X. Seorang operator /radiografer harus cakap untuk mengatur tegangan tabung, arus, waktu dan memilih pengaturan terbaik untuk mendapatkan dosis rendah dan kualitas citra terbaik.[1]

Kualitas citra dalam radiologi adalah ukuran keefektifan diagnosis yang harus dilakukan. Penilaian kualitas citra dilakukan dengan cara penilaian yang obyektif, salah satunya dengan besaran *Contrast to Noise Ratio* (CNR). CNR didefinisikan sebagai selisih antara ROI rata-rata (*Region of interest*) obyek ROI rata-rata dan latar belakang (BG), dibagi dengan standar deviasi latar. Salah satu cara menentukan rasio CNR adalah [2]:

$$CNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_0}$$

dengan:

- $S_A$  = Rata-rata ROI Obyek
- $S_B$  = Rata-rata ROI Latar
- $\sigma_0$  = Standard Deviasi

Bagaimana cara mendapatkan dosis terendah dan citra terbaik untuk radiografi dada? Bagaimana cara mendapatkan setting parameter terbaik? Maka dari itu, dalam kajian ini dilakukan penentuan setting penyinaran pesawat sinar-X untuk mendapatkan kualitas citra tinggi dengan dosis rendah pada radiografi dada menggunakan nilai rasio CNR.

## II. METODOLOGI

### Peralatan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa peralatan, yaitu:

#### 1. Pesawat Sinar-X

Merek pesawat sinar-X yang digunakan dalam kajian ini adalah Toshiba dengan Model KXO-50S, dan tipe MRAD-A50S. Generator arus bolak-balik 3 fasa dengan kekuatan 50 kW.



**Gambar 1.** Pesawat sinar-X Toshiba model KXO-50S

#### 2. Fantom Dada

Fantom untuk radiografi dada digital Model Associate Nuklir 07-646 (*Associate Nuklir, Carle Place, NY*).



**Gambar 2.** Fantom Dada [3]

#### 3. NanoDot dan OSL Reader

NanoDot adalah detektor yang dapat dibaca nilai dosis dengan segera. NanoDot terdiri dari Chip dengan diameter 4 mm bubuk aluminium oksida yang didoping dengan karbon, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: C. Setiap detektor id diidentifikasi dengan kode alfanumerik yang unik.

Jenis radiasi yang dapat diukur sinar-X dan gamma, beta; Detektor OSL (*Optically Stimulated Luminescence*); Bahan Aluminium oksida yang didoping dengan karbon, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: C; Dimensi Dot: 10 mm x 10 mm Tebal: 2 mm Paket: 45 mm x 40 mm.[4]



**Gambar 3.** NanoDot



**Gambar 4.** Microstar OSL Reader

#### 4. Tembaga

Tembaga dengan ukuran 1cm x 1cm dan tebal 1 mm digunakan untuk obyek.



**Gambar 5.** Tembaga

### 5. *Computed Radiography (CR) Scanner*

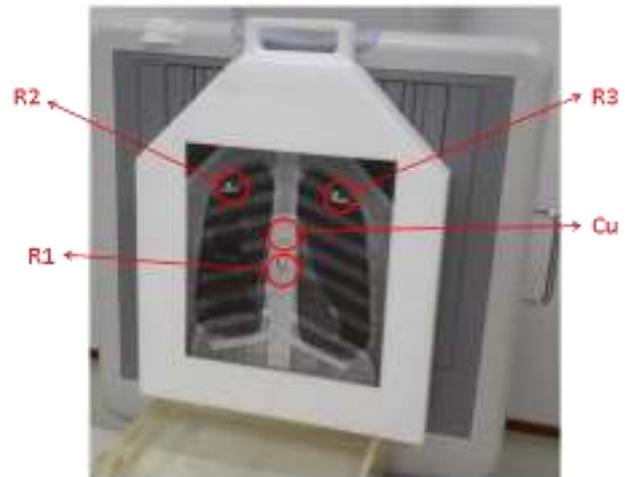
Carestream *Computed Radiography (CR)* dengan *software* terintegrasi DIRECTVIEW V5 untuk mengevaluasi citra radiografi.



**Gambar 6.** *Computed Radiografi (CR)*



**Gambar 7.** Setting posisi penyinaran



**Gambar 8.** Setting posisi nanoDot

#### Prosedur

Dalam kajian ini ada 2 prosedur yang dilakukan untuk mendapatkan data, yaitu:

##### I. Variasi Tegangan (kV)

- Nyalakan mesin Sinar-X, atur parameter variasi tegangan (kVp): 60, 70, 80, 90, 100; Arus (mA): 200 dan waktu (s): 0,1 dan atur fantom dada.
- Posisikan fantom dada pada bucky dada dengan jarak sumber detektor (SSD) pada 180cm.
- Arahkan kolimasi pada daerah ROI dengan mengatur kolimator, kemudian letakkan nanoDot (OSLD) di tengah (R1) dan letakkan OSLD lainnya di sebelah atas kiri (R2) dan atas kanan (R3).
- Sisipkan 1cm x1cm lembar tembaga 5 cm diatas nanoDot (R1).
- Masukkan kaset CR ke dalam slot *wall bucky chest* untuk sistem sinar-X.
- Ulangi langkah (b) – (d) dengan setting berbeda seperti langkah (a).
- Evaluasi nanoDot menggunakan OSL Reader untuk menentukan dosis yang diterima pada ROI dan keluaran kualitas citra (CNR) dengan menggunakan CR reader untuk setiap setting.

##### II. Variasi Arus (mA)

- Ulangi langkah pada bagian (I) dengan setting parameter tegangan tetap 100 kV dan variasikan arus(mA): 200, 160, 100, 50, 20, 10 and waktu (s): 0.1
- Setelah nilai dosis dan nilai CNR didapatkan, kemudian pilih nilai CNR yang terbesar dengan dosis terendah untuk menemukan setting terbaik yang optimal sistem pesawat sinar-X.

#### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 2 (dua) prosedur yang dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut:

- Pengukuran dosis pada NanoDot (OSL) (I)  
Dari pengukuran menggunakan NanoDot (OSL) dapat dilihat di Tabel 4.1. berikut:

Tabel 4.1. Dosis diterima

No	kVp	mA	s	R1	R2	R3	Avg	Avg-BG (Net Reading)
				mSv				
1	60	250	0.1	0.339	0.416	0.409	0.388	0.337
2	70			0.513	0.506	0.524	0.515	0.464
3	80			0.666	0.671	0.609	0.649	0.598
4	90			0.811	0.900	0.820	0.844	0.793
5	100			1.020	1.003	0.969	0.997	0.946

Dari persamaan, hasil nilai CNR dapat di tunjukkan pada Tabel 4.2.

## 2. Hasil kualitas citra dalam nilai CNR (I)

Tabel 4.2. Nilai CNR

No	kVp	mA	s	MPV(Signal)	MPV(BG)	Stdev(Signal)	Stdev(BG)	CNR
1	60	250	0.1	11	21	11	20.1	0.62
2	70			176	275	42.6	44.5	2.27
3	80			619	745	27.1	29.2	4.58
4	90			990	1108	19.1	18.9	6.21
5	100			1316	1426	13	15.1	7.81

Tabel 4.3. Perbandingan dosis dengan nilai CNR (I)

No	kVp	mA	s	Dose (mSv)	CNR
1	60	250	0.1	0.337	0.62
2	70			0.464	2.27
3	80			0.598	4.58
4	90			0.793	6.21
5	100			0.946	7.81

Dari Tabel 4.3. didapatkan nilai CNR terbesar adalah 7,81 dan dengan dosis 0,946 mSv. Hal itu berarti pada setting parameter 100 kVp, 250 mA, 0,1 s, didapatkan kualitas citra terbaik (CNR) dengan dosis yang tinggi.

## 3. Pengukuran dosis pada NanoDot (OSL) (II)

Setelah mendapatkan citra dengan dosis yang tinggi pada prosedur (I), kemudian dilakukan variasi

nilai arus (mA) dengan tegangan (kVp) yang tetap dan waktu ekspos set seperti prosedur (I).

Maksud dari prosedur diatas untuk mendapatkan citra terbaik dengan dosis yang rendah menggunakan parameter setting tersebut. Hasil nilai dosis dan kualitas citra pada prosedur ini ditunjukkan masing-masing di dalam tabel 4.4. dan 4.5.

Tabel 4.4. Dosis diterima

No	kVp	mA	s	R1	R2	R3	Avg	Avg-BG (Net Reading)
				mSv				
1	100	200	0.1	0.787	0.773	0.929	0.829	0.760
2		160		0.681	0.644	0.671	0.665	0.596
3		100		0.370	0.353	0.380	0.368	0.298
4		50		0.229	0.353	0.243	0.275	0.205
5		20		0.104	0.123	0.114	0.114	0.044
6		10		0.102	0.099	0.111	0.104	0.034

## 4. Hasil evaluasi kualitas citra dengan CNR (II)

Tabel 4.5. Nilai CNR

No	kVp	mA	s	MPV(Signal)	MPV(BG)	Stdev(Signal)	Stdev(BG)	CNR
1	100	200	0.1	1210	1330	14.6	15.6	7.94
2		160		1122	1238	16.9	16.5	6.95
3		100		872	983	21.3	20.5	5.31
4		50		600	706	29.1	26.3	3.82
5		20		180	257	45.8	45.1	1.69
6		10		138	209	43.0	44.4	1.62

Tabel 4.6. Perbandingan antara dosis dengan nilai CNR (II)

No	kVp	mA	s	Dose (mSv)	CNR
1	100	200	0.1	0.760	7.94
2		160		0.596	6.95
3		100		0.298	5.31
4		50		0.205	3.82
5		20		0.044	1.69
6		10		0.034	1.62

Tabel 4.7. Perbandingan hasil antara variasi kVp dan variasi mA

Procedure	kVp	mA	Exposure time	Result	
1. Varies kVp	100 kVp	250	0.1	Dose	0.946 mSv
				CNR	7.81
2. Varies mA	100 kVp	200	0.1	Dose	0.760 mSv
				CNR	7.94

Hasil dalam tabel 4.6. diatas menunjukkan bahwa nilai CNR tertinggi adalah 7,94 dan dengan nilai dosis adalah 0,760 mSv. Data ini didasarkan pada setting 100 kVp, 250 mA dan waktu 0,1 detik.

Dalam tabel 4.7. menunjukkan perbandingan hasil akhir antara 2 (dua) prosedur. Hal ini merupakan cara bagaimana untuk menentukan parameter setting yang optimal. Prosedur I (pertama) dengan variasi tegangan (kVp) dan setting lainnya tetap dan kemudian mencari setting terbaik untuk mendapatkan nilai kualitas citra tertinggi. Kemudian berdasarkan setting optimal didapatkan dari prosedur (I), dilanjutkan ke prosedur kedua (II) dengan setting kVp tetap dan setting lainnya seperti prosedur (I), variasi mA. Berdasarkan dari 2 (dua) prosedur tersebut, dapat dicari setting terbaik untuk mendapatkan setting optimal pada keseluruhan prosedur. Akhirnya, setting optimal untuk mendapatkan kualitas citra terbaik nilai CNR 7,94 dengan dosis rendah 0,760 mSv didapatkan pada setting 100 kVp, 200 mA dan 0,1 detik.

Berdasarkan hasil kajian diatas, kualitas citra terbaik bisa didapatkan pada saat dosis tinggi di aplikasikan. Hasil tersebut berlaku untuk setting yang menggunakan pesawat sinar-X radiografi umum, sistem CR dan posisi ROI yang dipilih pada fantom dada dalam kajian ini.

#### IV. KESIMPULAN

Sesuai dengan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa setting terbaik untuk mendapatkan kualitas citra yang tinggi didapatkan pada setting 100 kVp, 200 mA, 0,1 detik, nilai dosis 0,76 mSv dan nilai CNR 7,94. Hasil tersebut berlaku untuk setting yang menggunakan pesawat sinar-X radiografi umum, sistem CR dan posisi penempatan ROI pada fantom dada yang dipilih.

#### REKOMENDASI

Untuk kajian selanjutnya, dengan mempertimbangkan lokasi lain pada fantom dada, faktor lain yang mempengaruhi kualitas citra dan dosis seperti waktu ekspos, bidang pandang, jenis kaset CR, ukuran *focalspot*, penggunaan *grid* dan sebagainya untuk menentukan setting yang lebih optimal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Norriza Binti Mohd Isa, Staf Senior di Nuklear Malaysia bagian SSDL, selaku Supervisor penulis yang telah banyak membimbing tugas penulisan kajian selama 6 bulan dalam program PGEC-13 Tahun 2016.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://science.howstuffworks.com/x-ray.htm>
- [2] Retno Endah Savitri, Susilo, Sunarno, 2013, "Optimasi Faktor Eksposi Pada Sistem Radiografi Grafik Digital Menggunakan Analisis CNR (Contrast To Noise Ratio)"
- [3] <http://www.landauer.eu>
- [4] <http://www.supertechx-ray.com/Anthropomorphic/X-RayRadiography/Duke.php> "Digital Phantom "Duke" 07-646 Quality Control Phantom for Digital and Conventional Chest Radiography".



## TINJAUAN PERSYARATAN PERSONIL IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI I DAN IRADIATOR DENGAN PEMBANGKIT RADIASI PENGION KATEGORI I SEBAGAI BAHAN PERTIMBANGAN PENYUSUNAN RANCANGAN PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN RADIASI DALAM PENGGUNAAN IRADIATOR

Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN*

Email: c.dwipayana@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Pada tahun 2010 IAEA menerbitkan dokumen Specific Safety Guide No. 8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities (SSG 8) yang memuat rekomendasi keselamatan terbaru. Sehingga diperlukan penyesuaian terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator. Topik yang cukup menarik untuk ditinjau adalah persyaratan keselamatan untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I, salah satunya adalah persyaratan personil. Persyaratan personil adalah persyaratan yang penting untuk menjamin keselamatan radiasi dalam penggunaan iradiator. Personil yang dibutuhkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I adalah petugas proteksi radiasi dan operator iradiator. Petugas Proteksi Radiasi yang diperlukan adalah Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1, namun untuk penggunaan iradiator di rumah sakit, dapat digantikan oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1.

**Kata kunci:** iradiator, kategori I, personil, operator, ppr.

### ABSTRACT

*In 2010 the IAEA issued the Specific Safety Guide No. 8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities (SSG 8) containing the latest safety recommendations. Therefore it is necessary to adjust the BAPETEN Chairman Regulation Number 11/Ka-BAPETEN/VI-99 about Licensing of Irradiator Construction Operation. The most interesting topics to review are safety requirements for gamma irradiator category I, and electron and X-ray irradiator category I, one of which is the personnel requirement. Personnel requirements are important requirements to ensure radiation safety in the use of irradiators. Personnel required in the use of gamma irradiator category I, and electron and X-ray irradiator category I are radiation protection officers and irradiator operators. The required Radiation Protection Officer is a Level 1 Industrial Radiation Protection Officer, but for irradiator use in the hospital, may be replaced by a Level 1 Medical Radiation Protection Officer.*

**Keywords:** irradiator, category I, personnel, operator, RPO.

## I. PENDAHULUAN

Badan pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) adalah badan yang bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir melalui peraturan, perizinan, dan inspeksi. Salah satu tujuan pengawasan adalah untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [1].

Pemanfaatan sumber radiasi pengion yang merupakan bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir berkembang cukup pesat di berbagai bidang. Penggunaan iradiator sebagai salah satu pemanfaatan sumber radiasi pengion mengambil peran yang cukup penting baik di bidang industri maupun kesehatan. BAPETEN sebagai badan pengawas telah memiliki beberapa peraturan yang terkait dengan keselamatan dalam penggunaan iradiator.

Peraturan Kepala BAPETEN (Perka) Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator mendefinisikan iradiator sebagai perangkat peralatan pemancar radiasi dengan sumber radionuklida pemancar gamma atau pesawat akselerator pembangkit sinar-X dan/atau berkas elektron, yang digunakan untuk tujuan penelitian, sterilisasi/pasteurisasi, polimerisasi maupun untuk pengawetan bahan makanan [2].

Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir mengatur tentang persyaratan izin dalam pemanfaatan sumber radiasi pengion. Di dalam peraturan ini terdapat klasifikasi atau jenis iradiator yaitu, iradiator dengan zat radioaktif terbungkus kategori I, II, III, dan IV dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I dan II [3]. Klasifikasi atau jenis iradiator ini didasarkan pada

dokumen IAEA Safety Series No. 107 Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities [4].

Pada tahun 2010 IAEA menerbitkan dokumen terkait iradiator untuk merevisi Safety Series No. 107 yaitu Specific Safety Guide No. 8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities (SSG 8) yang memuat rekomendasi keselamatan terbaru [5]. Sehingga diperlukan penyesuaian terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator .

Topik yang cukup menarik untuk ditinjau adalah persyaratan keselamatan untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I. Kedua iradiator ini sudah tidak tercakup dalam lingkup SSG 8 namun menurut PP nomor 29 Tahun 2008 masih perlu pengaturan lebih lanjut. Salah satu persyaratan keselamatan radiasi adalah persyaratan personil. Persyaratan personil adalah persyaratan yang penting untuk menjamin keselamatan radiasi dalam penggunaan iradiator

Hasil tinjauan persyaratan personil untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam proses penyusunan Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator yang sedang dilakukan oleh Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN.

## II. LANDASAN TEORI

Tinjauan dilakukan dengan menggunakan beberapa referensi antara lain Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator, Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, Specific Safety Guide No. 8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities (SSG 8), dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion.

A. Persyaratan personil menurut Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator.

Di dalam Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 disebutkan bahwa iradiator adalah perangkat peralatan pemancar radiasi dengan sumber radionuklida pemancar gamma atau pesawat akselerator pembangkit sinar-X dan/atau berkas elektron, yang digunakan untuk tujuan penelitian, sterilisasi/pasteurisasi, polimerisasi maupun untuk pengawetan bahan makanan.

Di dalam lampiran IV Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 terkait Kualifikasi Pekerja Iradiator, pekerja iradiator diklasifikasikan menjadi operator iradiator, petugas dosimetri, petugas proteksi radiasi dan petugas

perawatan/perbaikan. Berikut tugas dan wewenang masing-masing pekerja:

1. Operator Iradiator
  - a. Mengoperasikan iradiator dengan aman sesuai dengan juklak yang dipakai.
  - b. Mengamati fungsi semua peralatan selama operasi berjalan.
  - c. Mencatat semua kegiatan yang berhubungan dengan pemanfaatan iradiator termasuk bahan yang diiradiasi dan besar dosis yang terpakai.
  - d. Mencatat dan melaporkan semua kelainan yang terjadi selama operasi berlangsung kepada penanggung jawab iradiator.
  - e. Melakukan survei radiasi
2. Petugas Dosimetri
  - a. Melakukan pengukuran laju dosis dan distribusi dosis pada ruang iradiasi.
  - b. Menentukan jenis dosimetri dan metoda pengukuran yang benar untuk memperoleh hasil yang maksimal.
  - c. Menentukan medan radiasi yang bisa dipakai untuk meradiasi suatu bahan sesuai dengan persyaratan yang diinginkan.
  - d. Mengukur distribusi dosis pada suatu bahan yang diiradiasi.
3. Petugas Proteksi Radiasi
  - a. Menyusun pedoman kerja;
  - b. Memberikan instruksi teknis dan administratif yang mudah dimengerti dan sebaiknya tertulis kepada pekerja radiasi tentang cara kerja yang baik;
  - c. Melakukan pemantauan radiasi secara berkala di dalam instalasi iradiator termasuk pekerja radiasi dan daerah sekitar gedung instalasi iradiator;
  - d. Menyelenggarakan dokumentasi yang berhubungan dengan proteksi radiasi;
  - e. Mengevaluasi semua keselamatan dan pengamanan dari pemanfaatan iradiator;
  - f. Mengevaluasi penerimaan dosis para pekerja dan dapat menasehatkan kepada Pengusaha Instalasi untuk memindahkan pekerja ke tempat lain, apabila Nilai Batas Dosis untuk jangka waktu tertentu dilampaui.
4. Petugas Perawatan/Perbaikan
  - a. Melakukan pemeriksaan rutin secara berkala terhadap semua peralatan sesuai dengan persyaratan yang dituntut oleh iradiator tersebut.
  - b. Melakukan perbaikan semua kerusakan yang terjadi.

Di dalam lampiran ini juga disebutkan kualifikasi untuk masing-masing pekerja atau personil. Berikut kualifikasi untuk masing-masing pekerja atau personil.

1. Operator Iradiator
  - a. Pendidikan serendah-rendahnya Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan eksakta;
  - b. Pernah mengikuti kursus proteksi radiasi;
  - c. Mempunyai kemampuan mengoperasikan iradiator dan alat ukur radiasi secara baik dan aman;

- d. Menguasai peraturan kerja dan prosedur kerja dengan iradiator jika terjadi keadaan darurat.
2. Petugas Dosimetri
  - a. Pendidikan serendah-rendahnya Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan Eksakta;
  - b. Pernah mengikuti kursus proteksi radiasi;
  - c. Mempunyai pengetahuan tentang dosimetri.
3. Petugas Proteksi Radiasi
  - a. Pendidikan serendah-rendahnya D3 atau Akademi Eksakta;
  - b. Pernah mengikuti kursus proteksi radiasi;
  - c. Memahami semua peraturan pemerintah yang berhubungan dengan pemanfaatan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi;
  - d. Mempunyai kemampuan mengoperasikan iradiator dan alat ukur radiasi;
  - e. Mempunyai pengetahuan tentang penanggulangan kecelakaan radiasi.
4. Petugas Perawatan/perbaikan
  - a. Pendidikan serendah-rendahnya Sekolah Menengah Umum atau Sekolah Kejuruan Eksakta;
  - b. Pernah mengikuti kursus proteksi radiasi atau mempunyai pengetahuan dasar mengenai bahaya radiasi dan ketentuan keselamatan kerja;
  - c. Mempunyai pengetahuan tentang mesin dan mekanisme kerja iradiator.[2]

**B. Persyaratan personil menurut Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir.**

Iradiator sesuai dengan PP No. 29 Tahun 2008 termasuk dalam kelompok pemanfaatan A. Pada kelompok A Iradiator dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu Iradiator dengan menggunakan sumber zat radioaktif dan sumber radiasi pengion. Di bagian penjelasan terdapat definisi untuk masing-masing jenis iradiator. Iradiator kategori I dengan zat radioaktif terbungkus adalah iradiator dengan zat radioaktif terbungkus yang terkungkung dalam kontener material padat dan berperisai radiasi sepanjang waktu, dan konfigurasi rancangannya tidak memungkinkan orang secara fisik mengakses zat radioaktif dan bagian yang diiradiasi. Sedangkan Iradiator kategori I dengan pembangkit radiasi pengion adalah iradiator jenis mesin berkas elektron yang berperisai radiasi dan dijaga agar orang tidak dapat mengakses mesin berkas elektron selama operasi dengan sistem kendali masuk. Izin penggunaan kedua iradiator ini tidak bertahap seperti iradiator lainnya.

Berdasarkan Pasal 10 PP No. 29 Tahun 2008, untuk dapat memperoleh izin pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir, pemohon izin harus memenuhi persyaratan administratif, teknis dan/atau khusus. Selanjutnya pada Pasal 14 disebutkan bahwa salah satu persyaratan teknik adalah data petugas proteksi radiasi dan personil lain yang memiliki kompetensi. Berdasarkan penjelasan pasal 14, yang dimaksud personil lain tersebut meliputi pekerja radiasi, operator, supervisor, petugas dosimetri, petugas perawatan dan perbaikan, dan/atau tenaga ahli sesuai

dengan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir. Berdasarkan Pasal 14 tersebut disimpulkan bahwa jenis personil yang diperlukan disesuaikan dengan jenis pemanfaatan sumber radiasi pengion masing-masing.

**C. Persyaratan personil menurut Specific Safety Guide No. 8 Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities (SSG 8).**

Perubahan mendasar dari Safety Series No. 107 menjadi SSG-8 adalah bahwa lingkup pembahasan SSG-8 tidak lagi mencakup rekomendasi teknis untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I. Namun tinjauan terhadap persyaratan personil untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I masih bisa dilakukan dengan menggunakan dokumen ini karena didalam dokumen ini masih terdapat uraian tugas petugas proteksi radiasi, operator, dan pekerja lain. Uraian tugas ini masih bisa disarikan sebagai rekomendasi penyusunan peraturan yang baru. Rekomendasi persyaratan personil dibahas dalam BAB IV SSG-8. Berikut rekomendasi persyaratan personil dalam SSG-8:

**1. Petugas Proteksi Radiasi**

Petugas proteksi radiasi harus merupakan orang yang memiliki kompetensi teknis dalam proteksi radiasi. Petugas proteksi radiasi memiliki peran sebagai pengawas dalam kegiatan penggunaan iradiator. Tugas Petugas Proteksi Radiasi adalah sebagai berikut:

- Memastikan tersedianya petunjuk pengoperasian berbahasa lokal untuk seluruh operator iradiator, staf perawatan, kontraktor dan individu dan organisasi terkait, serta memastikan mereka membaca, memahami dan menerapkan petunjuk operasi tersebut.
- Menentukan daerah pengendalian dan daerah supervisi
- Mengendalikan akses menuju daerah pengendalian
- Mengoptimalkan pengendalian paparan dan memelihara fasilitas teknik dan peralatan lain yang berkontribusi terhadap pengendalian paparan kerja dan paparan publik
- Memutuskan apakah diperlukan pembatasan khusus terkait dengan pekerja wanita yang diduga hamil
- Mengatur jadwal pengujian monitor radiasi terpasang tetap, serta kalibrasi dan pengujian survey meter radiasi
- Memelihara catatan sumber radioaktif dan catatan pelatihan dan keselamatan terkait.
- Melakukan survey radiasi dan pemantauan lingkungan secara rutin.
- Mengawasi keluar masuknya dosimeter perorangan dan meninjau hasil dosimetri
- Mengatur jadwal pengujian kebocoran zat radioaktif
- Melakukan program pemeriksaan keselamatan sistem keselamatan dan sinyal dan alarm peringatan, dan kondisi umum fasilitas secara rutin
- Bekerjasama dengan kontraktor, desainer dan pemasok sehubungan dengan proteksi radiasi dan

secara signifikan merubah aspek fisik dan operasional fasilitas

- Mengatur jadwal pelatihan proteksi radiasi bagi operator iradiator, staf perawatan, kontraktor dan staf lain sesuai dengan kebutuhan.
- Memastikan dilakukannya pengkajian keselamatan dan rencana kontijensi yang memadai terhadap setiap insiden yang dapat diduga menyangkut proteksi radiasi
- Mengatur jadwal latihan pengujian efektivitas implementasi kontijensi plan secara periodik
- Melakukan investigasi setiap insiden/ hampir insiden di fasilitas seperti:
  - o Setiap parameter operasi yang berhubungan dengan kendali mutu yang nilainya melebihi batas normal kondisi operasi yang ditetapkan
  - o Setiap kegagalan peralatan, kecelakaan, kesalahan, kejadian tidak biasa atau keadaan yang menyebabkan, atau memiliki potensi untuk menyebabkan dosis melebihi batas yang ditetapkan didalam peraturan (contoh: kegagalan sumber radioaktif kembali ke posisi terperisai)

## 2. Operator Iradiator

Operator iradiator adalah pekerja yang bekerja sangat dekat dengan iradiator dan kesehariannya bertanggungjawab dalam keselamatan operasi. Hanya operator berkualifikasi yang diizinkan untuk mengoperasikan iradiator. Seorang operator iradiator berkualifikasi harus:

- Menyelesaikan kursus pelatihan yang disetujui badan pengawas;
- Memiliki pengetahuan tentang desain dasar, operasi dan perawatan preventif iradiator dan prosedur tertulis untuk pengoperasian iradiator secara rutin dan darurat.
- Memiliki pengetahuan tentang laju dosis diseluruh area disekitar iradiator
- Memiliki pengetahuan tentang fitur-fitur yang berhubungan dengan keamanan sumber radioaktif seperti kunci, tanda-tanda bahaya, lampu peringatan, sinyal visual dan audio dan sistem interlock keselamatan
- Memiliki pengetahuan tentang instrument deteksi radiasi dan persyaratan untuk pemantauan perorangan
- Mampu mengoperasikan iradiator dengan selamat dan mampu memelihara catatan dan log book operasi yang dibutuhkan
- Memiliki pengetahuan tentang struktur organisasi keseluruhan yang berkaitan dengan manajemen iradiator, termasuk pendelegasian wewenang dan tanggung jawab khusus terhadap pengoperasian iradiator.

## 3. Pekerja lain

Selain operator iradiator, pemegang izin harus menyediakan pekerja tambahan (lain) untuk melakukan berbagai pekerjaan rutin meliputi pemindahan produk keluar dan masuk ruangan radiasi, bagian kebersihan ruangan yang memiliki potensi berdampak pada keselamatan radiasi dan kegiatan perawatan rutin.

Kompetensi pekerja lain ini dalam bekerja secara selamat harus dipastikan oleh PPR.

## 4. Tenaga Ahli

Tenaga ahli adalah seseorang yang diakui berdasarkan sertifikasi oleh badan atau komunitas, lisensi professional atau kualifikasi akademis, dan pengalaman, memiliki keahlian dibidang terkait dengan bidang fisika medik, proteksi radiasi, keselamatan kerja, keselamatan kebakaran, jaminan mutu dan spesialisasi teknik dan keselamatan terkait lainnya.

Pemegang izin dapat menentukan satu atau lebih tenaga ahli untuk memberikan masukan tentang berbagai hal yang menyangkut keselamatan radiasi dalam desain dan pengoperasian fasilitas. Tenaga ahli dapat dipekerjakan secara penuh atau paruh waktu atau bersifat sementara. Namun, perlu diatur penjadwalan kapan waktunya tenaga ahli tersebut memberikan masukan. Sama seperti PPR, pemegang izin tidak dapat mendelegasikan tanggung jawab keselamatannya kepada tenaga ahli.

Tenaga ahli harus berpengalaman dalam hal proteksi radiasi dan harus memiliki:

- Pelatihan teori yang mencakup pelatihan sifat-sifat radiasi yang digunakan didalam radiasi
- Pengetahuan yang mendalam tentang bahaya yang berhubungan dengan radiasi dan cara bagaimana mengendalikan dan meminimalisir bahaya
- Pemahaman dan pengetahuan detail tentang praktik kerja yang digunakan di fasilitas, serta pengetahuan umum tentang praktik kerja di fasilitas lain yang serupa
- Pengetahuan kerja detail tentang ketentuan pengaturan, kode etik dan standar proteksi, bahan panduan dan informasi penting lainnya untuk memberikan masukan berkaitan dengan pekerjaan yang berhubungan dengan radiasi yang dilakukan oleh pemegang izin
- Kesadaran terhadap peraturan yang akan mempengaruhi pekerjaan yang berhubungan dengan radiasi
- Kemampuan dalam memberikan masukan sehingga pemegang izin dapat memenuhi peraturan dan mengikuti praktik proteksi radiasi yang baik
- Kemampuan dalam berkomunikasi dengan pekerja dan perwakilannya
- Kemampuan untuk selalu terkini dalam pengembangan penggunaan radiasi ditempat dimana tenaga ahli tersebut bekerja.[4]

D. Persyaratan personil menurut Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion.

Di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 disebutkan bahwa petugas keahlian pada iradiator, meliputi Operator Iradiator, Petugas Dosimetri, dan Petugas Perawatan. Operator Iradiator adalah orang yang berkompeten untuk mengoperasikan iradiator dan perlengkapannya. Petugas Dosimetri adalah orang yang berkompeten untuk melakukan pekerjaan dosimetri di ruang iradiasi. Petugas Perawatan adalah orang yang berkompeten untuk

melakukan pemeriksaan rutin dan perbaikan di fasilitas iradiator.

Persyaratan khusus untuk Operator meliputi:

- berijazah serendah-rendahnya jenjang pendidikan menengah bidang eksakta atau teknik, yang dibuktikan dengan fotokopi ijazah yang dilegalisir;
- memiliki sertifikat telah mengikuti pelatihan Petugas Iradiator lingkup kompetensi Operator Iradiator dari lembaga pelatihan yang terakreditasi; dan
- memiliki sertifikat keahlian Petugas Iradiator lingkup kompetensi Operator Iradiator dari Lembaga Sertifikasi Profesi.

Persyaratan khusus untuk Petugas Dosimetri meliputi:

- berijazah serendah-rendahnya jenjang pendidikan menengah bidang eksakta atau teknik, yang dibuktikan dengan fotokopi ijazah yang dilegalisir;
- memiliki sertifikat telah mengikuti pelatihan Petugas Iradiator lingkup kompetensi Petugas Dosimetri dari lembaga pelatihan yang terakreditasi; dan
- memiliki sertifikat keahlian Petugas Iradiator lingkup kompetensi Petugas Dosimetri dari Lembaga Sertifikasi Profesi.

Persyaratan khusus untuk Petugas Perawatan meliputi:

- berijazah serendah-rendahnya jenjang pendidikan menengah bidang eksakta atau teknik, yang dibuktikan dengan fotokopi ijazah yang dilegalisir;
- memiliki sertifikat telah mengikuti pelatihan Petugas Iradiator lingkup kompetensi Petugas Perawatan dari lembaga pelatihan yang terakreditasi; dan
- memiliki sertifikat keahlian Petugas Iradiator lingkup kompetensi Petugas Perawatan dari Lembaga Sertifikasi Profesi.

Di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 juga disebutkan bahwa Petugas Proteksi Radiasi untuk iradiator adalah Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1.

Persyaratan khusus untuk Petugas Proteksi Radiasi meliputi:

- berijazah serendah-rendahnya D-III jurusan eksakta atau teknik, yang dibuktikan dengan fotokopi ijazah yang dilegalisir;
- memiliki sertifikat telah mengikuti dan lulus pelatihan Petugas Proteksi Radiasi dari lembaga pelatihan yang terakreditasi; dan
- mengikuti dan lulus ujian yang diselenggarakan oleh BAPETEN.[6]

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan landasan teori yang sudah dipaparkan diatas dapat dilalukan beberapa analisa terkait personil yang dibutuhkan dibutuhkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I.

1. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tidak menyebutkan jenis iradiator yang diatur, sehingga dapat disimpulkan peraturan ini juga berlaku untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I termasuk persyaratan terkait personil. Namun hanya 2 personil yang dapat

diterapkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I yaitu petugas proteksi radiasi dan operator, karena petugas dosimetri dan petugas perawat tidak dibutuhkan. Dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I tidak ada penghitungan dosis yang membutuhkan pengetahuan yang spesifik. Perawatan yang dilakukan juga tidak sampai membuka kompartemen sumber radioaktif. Ketentuan tugas dan wewenang kedua personil ini juga masih relevan sebagai bahan pertimbangan penyusunan Rancangan Peraturan BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator.

2. Pasal 14 disebutkan bahwa salah satu persyaratan teknik adalah data petugas proteksi radiasi dan personil lain yang memiliki kompetensi. Berdasarkan penjelasan pasal 14, yang dimaksud personil lain tersebut meliputi pekerja radiasi, operator, supervisor, petugas dosimetri, petugas perawatan dan perbaikan, dan/atau tenaga ahli sesuai dengan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion. Berdasarkan Pasal 14 tersebut disimpulkan bahwa jenis personil yang diperlukan disesuaikan dengan jenis pemanfaatan sumber radiasi pengion masing-masing. Iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I memiliki sumber radioaktif yang selalu terperisai, sehingga tidak memungkinkan orang untuk mengakses kompartemen sumber radioaktif. Perhitungan dosis juga tidak terlalu rumit karena biasanya pabrikan telah menyediakan tabel dosis yang berhubungan dengan waktu iradiasi. Jika dilihat dari teknologi dan resiko bahaya dari iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I maka personil yang mungkin dibutuhkan adalah operator ditambah petugas proteksi radiasi. Supervisor, petugas dosimetri, petugas perawatan dan perbaikan, dan/atau tenaga ahli tidak diperlukan karena teknologi cukup sederhana dan resiko bahaya radiasi yang cukup kecil. Semua pekerjaan terkait penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I dapat dikerjakan oleh operator.
3. Menurut SSG-8 personil yang terlibat dalam penggunaan iradiator adalah petugas proteksi radiasi, operator iradiator, pekerja lain, dan tenaga ahli. Namun pekerja lain dan tenaga ahli sepertinya tidak dibutuhkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I. Khusus untuk tenaga ahli, personil ini dibutuhkan untuk menangani iradiator dengan sistem keselamatan yang sangat kompleks, sedangkan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I sistem keselamatannya cukup sederhana. Tugas dan tanggung jawab pekerja proteksi radiasi dan operator iradiator masih relevan sebagai bahan pertimbangan penyusunan Rancangan Peraturan BAPETEN

tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator.

4. Dari definisi petugas iradiator yang ada dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014, dapat disimpulkan bahwa personil yang dibutuhkan untuk iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I hanya petugas proteksi radiasi dan operator iradiator. Karena Petugas Dosimetri adalah orang yang berkompeten untuk melakukan pekerjaan dosimetri di ruang iradiasi, sedangkan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I tidak memiliki ruang iradiasi. Untuk tugas pemeriksaan rutin dan perbaikan yang dilakukan petugas perawatan, masih bisa dilakukan oleh operator iradiator. Untuk petugas proteksi radiasi yang diperlukan adalah Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1, namun sangat mungkin ada iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I yang digunakan di rumah sakit yang lebih sering dikenal sebagai blood irradiator. Untuk penggunaan di rumah sakit diusulkan Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1 dapat digantikan oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1. Terkadang rumah sakit kesulitan untuk menambah personil karena terkendala dengan masalah yang berhubungan dengan aspek ekonomi. Prinsip proteksi yang diperlukan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I dapat dikatakan mudah dikuasai oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1.

Dari beberapa pertimbangan diatas, penulis menyimpulkan bahwa personil yang dibutuhkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I adalah petugas proteksi radiasi dan operator iradiator. Petugas Proteksi Radiasi yang diperlukan adalah Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1, namun untuk penggunaan iradiator di rumah sakit, dapat digantikan oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1. Kualifikasi personil harus mengikuti ketentuan yang ada dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 termasuk tata cara memperoleh Surat Izin Bekerja (SIB).

Dari referensi yang telah diacu penulis dapat membuat usulan tugas dan tanggungjawab masing-masing personil. Tugas dan tanggungjawab masing-masing personil adalah sebagai berikut :

- a. Petugas Proteksi Radiaai
- membantu Pemegang Izin dalam menyusun, mengembangkan, dan melaksanakan program proteksi dan keselamatan radiasi;
  - memantau aspek operasional program proteksi dan keselamatan radiasi;
  - memastikan bahwa perlengkapan Proteksi Radiasi tersedia dan berfungsi dengan baik;
  - memantau pemakaian perlengkapan Proteksi Radiasi;

- meninjau secara sistematis dan periodik pelaksanaan pemantauan paparan radiasi dalam penggunaan iradiator;
  - memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi;
  - mengelola Rekaman pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi dan laporan verifikasi keselamatan radiasi;
  - mengidentifikasi, merencanakan, dan mengkoordinasikan kebutuhan pelatihan proteksi dan keselamatan radiasi;
  - melaporkan kepada Pemegang Izin setiap kejadian yang berpotensi menimbulkan Kecelakaan Radiasi;
  - melaksanakan penanggulangan keadaan darurat dan pencarian fakta dalam hal terjadi Kecelakaan Radiasi; dan
  - menyiapkan laporan tertulis mengenai pemantauan Keselamatan Radiasi.
- b. Operator Iradiator
- mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi;
  - mengetahui dan memahami seluruh sistem Iradiator yang dioperasikan;
  - menggunakan perlengkapan Proteksi Radiasi sesuai prosedur;
  - melaporkan setiap kejadian kecelakaan kepada Petugas Proteksi Radiasi;
  - mengoperasikan Iradiator dengan aman sesuai dengan prosedur;
  - mengamati fungsi semua peralatan selama operasi berjalan;
  - mencatat semua kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan Iradiator, termasuk bahan yang diiradiasi dan besar dosis yang digunakan; dan
  - mencatat dan melaporkan kepada Petugas Proteksi Radiasi mengenai semua kelainan yang terjadi selama operasi berlangsung.

#### IV. KESIMPULAN

Personil yang dibutuhkan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I adalah petugas proteksi radiasi dan operator iradiator. Petugas Dosimetri tidak diperlukan karena perhitungan dosis sudah berdasarkan tabel yang diberi oleh pihak barikan. Petugas perawatan tidak diperlukan karena perawatan yang dilakukan tidak sampai membuka perisai atau kompartemen sumber radioaktif.

Petugas Proteksi Radiasi yang diperlukan adalah Petugas Proteksi Radiasi Industri Tingkat 1, namun untuk penggunaan iradiator di rumah sakit, dapat digantikan oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1. Karena terkadang rumah sakit kesulitan untuk menambah personil karena terkendala dengan masalah yang berhubungan dengan aspek ekonomi dan prinsip proteksi yang diperlukan dalam penggunaan iradiator dengan zat radioaktif kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I dapat dikatakan mudah dikuasai oleh Petugas Proteksi Radiasi Medik Tingkat 1.

Tugas dan tanggungjawab masing-masing personil masih dapat dikembangkan agar lebih sesuai dengan penggunaan iradiator dengan zat radioaktif

kategori I dan iradiator dengan pembangkit radiasi pengion kategori I.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia. (1997) Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Setneg, Jakarta.
- [2] BAPETEN. (1999) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator, BAPETEN, Jakarta.
- [3] Republik Indonesia. (2008) Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, Setneg, Jakarta.
- [4] IAEA. (1992) Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities, IAEA, Vienna.
- [5] IAEA. (2010) Specific Safety Guide 8 on Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, IAEA, Vienna.
- [6] BAPETEN. (2014) Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2014 tentang Surat Izin Bekerja Petugas Tertentu yang Bekerja di Instalasi yang Memanfaatkan Sumber Radiasi Pengion., BAPETEN, Jakarta.



## VERIFIKASI PAPARAN RADIASI TERHADAP DESAIN PERISAI RADIASI TOMOTERAPI HELIKAL HI-ART

Mukhlisin<sup>1</sup>, Asep Saefulloh Hermawan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN

Email: r.mukhlisin@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Tomoterapi Helikal Hi-Art merupakan modalitas radioterapi pengobatan kanker yang mutakhir berbasis *Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT)* yang menggabungkan teknologi CT Scan dan Linac. Bunker Tomoterapi Helikal harus didesain dan dibangun mengikuti regulasi Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker Tomoterapi Helikal harus dilakukan untuk memastikan kecukupan pemenuhan persyaratan perisai radiasi Tomoterapi. Makalah ini membahas verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker Tomoterapi Helikal dikaitkan dengan hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi bunker Tomoterapi yang telah dibuat, sehingga dapat diketahui kecukupan perisai radiasi bunker Teleterapi Cobalt 60 yang digunakan sebagai bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art. Pengukuran paparan radiasi dilakukan di beberapa titik proteksi sekitar bunker Tomoterapi menggunakan mode penyinaran rotasi helikal dan mode penyinaran statis sudut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan  $270^\circ$  dengan kondisi penyinaran energi 6 MV, monitor unit (MU) maksimum dan luas lapangan maksimum  $5 \times 40 \text{ cm}^2$  pada pusat berkas penyinaran dengan atau tanpa menggunakan medium penghambur TomoPhantom. Hasil verifikasi paparan radiasi mode penyinaran rotasi helikal menunjukkan bahwa nilai laju dosis terbesar adalah daerah Atap I sebesar  $2,98 \pm 0,20 \mu\text{Sv/jam}$  dan pintu sebesar  $6,72 \pm 0,07 \mu\text{Sv/jam}$ , sedangkan untuk daerah lainnya berkisar  $0,02 - 0,31 \mu\text{Sv/jam}$ . Adapun untuk mode penyinaran statis nilai laju dosis terbesar adalah daerah Atap I sebesar  $5,74 \pm 0,06 \mu\text{Sv/jam}$  ( $180^\circ$ ) dan pintu sebesar  $6,69 \pm 0,34 \mu\text{Sv/jam}$  ( $270^\circ$ ), sedangkan untuk daerah pintu sudut lainnya berkisar  $2,97 \pm 0,07 \mu\text{Sv/jam}$  ( $180^\circ$ ) –  $4,89 \pm 0,16 \mu\text{Sv/jam}$  ( $90^\circ$ ), dan daerah lainnya berkisar  $0,01 - 0,38 \mu\text{Sv/jam}$ . Nilai laju dosis daerah Atap I dan pintu melebihi nilai *shielding design goal* disebabkan tebal *shielding* yang kurang dan pintu tidak dapat ditutup dengan rapat. Nilai deviasi antara hasil kalkulasi dan hasil verifikasi paparan radiasi terhadap desain perisai radiasi (bunker) Tomoterapi tidak signifikan yaitu berkisar antara  $0,01 - 0,57 \mu\text{Sv/jam}$ . Secara umum bahwa hasil verifikasi paparan radiasi pada bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art memenuhi persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi, yaitu nilai laju dosis di sekitar bunker berada di bawah *shielding design goal* yang telah ditetapkan oleh pemohon izin dan nilai pembatas dosis (*dose constraint*) yang telah ditetapkan oleh BAPETEN, kecuali untuk daerah pintu dan atap. Tomoterapi Helikal Hi-Art dapat dioperasikan untuk layanan pasien radioterapi setelah memenuhi persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi.

### ABSTRACT

*Hi-Art Helical Tomotherapy is a sophisticated radiotherapy treatment modality based on Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) that incorporates the technology of CT Scan and Linac. Vault of Helical Tomotherapy shall be designed and built following applicable regulation of the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN). Verification measurements of radiation exposure around Helical Tomotherapy vault should be conducted to ensure adequate compliance with tomotherapy radiation shield requirements. This paper discusses the verification measurement of radiation exposure around Helical Tomotherapy vault associated to evaluation result of radiation vault shield, thus sufficiency of Teletherapy Cobalt 60 vault radiation shield used as Helical Tomotherapy Hi-Art vault can be determined. Measurements of radiation exposure were performed at several points of protection around Tomotherapy vault using helical rotation irradiation mode and static irradiation angle mode of  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , and  $270^\circ$  with 6 MV radiation conditions, maximum monitor unit (MU) and field sizes of  $5 \times 40 \text{ cm}^2$  at center of beam with or without using TomoPhantom scattering medium. Verification results of radiation exposure with helical rotation mode showed that the highest dose rate was on Roof I area of  $2.98 \pm 0.20 \mu\text{Sv/h}$  and door of  $6.72 \pm 0.07 \mu\text{Sv/h}$ , while for other area were  $0.02 - 0.31 \mu\text{Sv/h}$ . As for static mode, the highest dose rate was on Roof I area of  $5.74 \pm 0.06 \mu\text{Sv/h}$  ( $180^\circ$ ) and door of  $6.69 \pm 0.34 \mu\text{Sv/h}$  ( $270^\circ$ ), as for other corner doors area were in range from  $2.97 \pm 0.07 \mu\text{Sv/h}$  ( $180^\circ$ ) -  $4.89 \pm 0.16 \mu\text{Sv/h}$  ( $90^\circ$ ), and other areas were in range from  $0.01 - 0.38 \mu\text{Sv/h}$ . The dose rate of roof I area and door exceeded shielding design goal value due to less shielding thickness and the door cannot be sealed tightly. The deviation value between calculation and radiation exposure verification results on Tomotherapy vault design is insignificant which is in the range of  $0.01 - 0.57 \mu\text{Sv/h}$ . In general, verification results of radiation exposure on Hi-Art Helical Tomotherapy vault has met the radiation protection and safety requirement, as dose rate around vault was below shielding design goal specified by applicant and dose constraint value is determined by BAPETEN, except for door and roof area. In conclusion, Hi-Art Helical Tomotherapy can be operated for radiotherapy patient service after radiation protection and safety requirements are accomplished.*

**Keywords:** *Helical Tomotherapy, radiation shielding, and radiation survey verification.*

## I. PENDAHULUAN

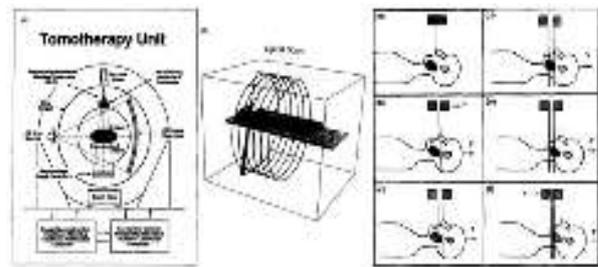
Tomoterapi Helikal merupakan inovasi hasil penggabungan teknologi CT Scan dan Akselerator Linear (Linac) untuk dapat memenuhi persyaratan pengobatan radioterapi mutakhir yang ideal. Pemberian dosis tomoterapi ke pasien dilakukan secara helikal, yang diperoleh secara simultan pergerakan meja pasien (*couch*) dan *gantry* seperti diilustrasikan dalam Gambar 1 [1]. Teknik Tomoterapi menggunakan prinsip yang sama dengan CT Scan Radiologi Diagnostik yaitu penyinaran radiasi/pemberian dosis dilakukan secara *slice per slice* menggunakan berkas radiasi yang sangat sempit. Hal ini berbeda dengan radioterapi konvensional, berkas radiasi Tomoterapi berputar terus menerus mengitari tubuh pasien. Berkas radiasi Tomoterapi memancar mengenai target tumor dari berbagai sudut yang berbeda, sehingga dosis yang diterima tumor lebih akurat dan dosis yang diterima oleh jaringan sehat sekitar minimal [2, 3].

Modalitas Tomoterapi Helikal menghadirkan tantangan baru terhadap proteksi dan keselamatan radiasi yang berkaitan dengan pertimbangan desain perisai radiasi, yaitu dengan adanya peningkatan *beam-on time* saat pemberian dosis ke target tumor maka metode perhitungan perisai radiasi diperlukan pertimbangan khusus, terutama untuk kebocoran radiasi [4]. *Beam-on time* yang dibutuhkan untuk memberikan dosis ke target tumor pada pengobatan Tomoterapi sangat meningkat dan mengarah pada peningkatan beban kerja mingguan yang lebih tinggi dibandingkan pada terapi radiasi konvensional. Dalam prakteknya perhitungan perisai radiasi Tomoterapi Helikal tidak memungkinkan menggunakan metode perhitungan perisai radiasi yang standar [4].

Dalam perhitungan perisai radiasi untuk Teleterapi Akselerator Linear (Linac) maupun Cobalt 60 harus mempertimbangkan perisai radiasi primer dan perisai radiasi sekunder yang meliputi kebocoran radiasi dan hamburan pasien. Namun dalam perhitungan perisai radiasi Tomoterapi, perisai radiasi primer tidak menjadi perhatian utama, hal ini disebabkan pesawat Tomoterapi Helikal telah terpasang *Lead Beam Stopper (LBS)* yang arahnya berlawanan terhadap arah berkas radiasi. Dengan kata lain bahwa disebabkan waktu iradiasi yang cukup lama, kebocoran radiasi pada *head* akselerator menjadi perhatian utama dalam desain perisai radiasi Tomoterapi [4].

Permasalahan yang berhubungan dengan perisai radiasi Tomoterapi Helikal telah dilakukan investigasi dan dilaporkan oleh beberapa penulis, termasuk termasuk survei paparan radiasi sekitar bunker Tomoterapi untuk memeriksa kecukupan perisai radiasi dari hasil perhitungan [5-8].

Saat ini modalitas Tomoterapi Helikal model Hi-Art (TomoTherapy Inc., Madison, WI, USA) telah terpasang di rumah sakit pemerintah yang merupakan modalitas radioterapi terancang pertama kali di Indonesia. Tomoterapi Helikal tersebut diinstal di bunker Teleterapi Cobalt 60 yang telah dilimbankan.



Gambar 1. Prinsip umum tomoterapi helikal [1]



Gambar 2. Tomoterapi Helikal Hi-Art

Evaluasi dan analisis perhitungan perisai radiasi terhadap penggunaan bunker Teleterapi Cobalt 60 sebagai bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art telah dilakukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) [9]. Untuk mengevaluasi hasil perhitungan perisai radiasi Tomoterapi tersebut, maka setelah pesawat Tomoterapi terpasang maka harus dilakukan verifikasi melalui survei paparan radiasi guna menjamin pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi sebelum izin operasi radioterapi Tomoterapi Helikal diberikan ke pemohon izin.

Makalah ini membahas verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art dikaitkan dengan hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi bunker Tomoterapi yang telah dibuat, sehingga dapat diketahui kecukupan perisai radiasi bunker Teleterapi Cobalt 60 yang digunakan sebagai bunker Tomoterapi Helikal model Hi-Art (TomoTherapy Inc., Madison, WI, USA).

Karya ini diharapkan dapat memberikan pedoman bagi pemohon izin, evaluator perizinan, dan inspektur BAPETEN mengenai pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi dalam konstruksi Tomoterapi Helikal ditinjau dari aspek perhitungan perisai radiasi dan verifikasi terhadap paparan radiasi bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art.

## II. METODOLOGI

### II.1 Modalitas Tomoterapi

Modalitas tomoterapi helikal yang telah dilakukan evaluasi perhitungan perisai radiasi (bunker tomoterapi) adalah Tomo Hi-Art (*TomoHelical delivery*

*mode only*) yang memiliki spesifikasi: energi foton 6 MV, keluaran radiasi (*output*) kalibrasi 8,50 Gy/menit pada jarak 0,85 m, memiliki 64 *multi leaf colimator (MLC)*, luas lapangan maksimum dimensi transversal (sumbu-x) adalah 40 cm dan lebar maksimum berkas radiasi (sumbu-y) adalah 5 cm, jarak sumber ke aksis (SAD) sebesar 85 cm, dan terpasang *Lead Beam Stopper* 13 cm [1]. Berdasarkan data menunjukkan bahwa *LBS* dengan ketebalan 13 cm dapat mereduksi transmisi radiasi primer sampai 0,4% terhadap *output* terkalibrasi pada isocenter [10]. Modalitas Tomoterapi Hi-Art yang telah terinstal dapat dilihat dalam Gambar 2.

## II.2 Hasil Perhitungan Perisai Radiasi Tomoterapi

Perhitungan perisai radiasi Tomoterapi Helikal mengacu pada dokumen gambar desain bunker Tomoterapi yang telah diajukan oleh pemohon izin [11]. Berdasarkan Pasal 5 huruf e Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 bahwa gambar desain bunker Radioterapi (*as built design*) dalam bentuk cetak biru skala paling kurang 1:50 (satu berbanding limapuluh) dengan 3 (tiga) penampang lintang (tampak depan, samping, dan atas), dan penggunaan ruang sekitarnya [12], seperti ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4 [11].

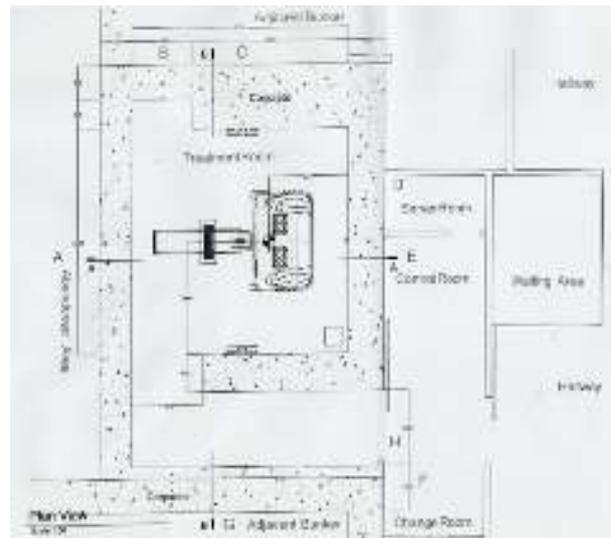
Hasil Perhitungan perisai radiasi tersebut menggunakan beberapa variabel input, yaitu:

- Faktor IMRT Tomoterapi sebesar 25,5 [10].
- Beban kerja (*W*) diasumsikan bahwa rata-rata dosis per fraksi sebesar 3 Gy/fraksi dan rata-rata jumlah pasien per hari sejumlah 55 pasien/hari, sehingga nilai *W* untuk perisai radiasi primer dan hamburan pasien adalah 3 Gy/fraksi x 55 pasien/hari x 5 hari/minggu = 825 Gy/minggu. Penentuan nilai *W* untuk perisai radiasi sekunder kebocoran radiasi didasarkan selain parameter seperti perisai radiasi primer juga melibatkan faktor IMRT, sehingga nilai *W* untuk perisai radiasi sekunder adalah 825 Gy/minggu x 25,5 = 21.038 Gy/minggu.
- Faktor *U* (*Use Factor*) sebesar 1 dan faktor *T* (*Occupancy Factor*) ditentukan berdasarkan tingkat hunian suatu daerah yang akan diproteksi. Nilai *T* mengacu pada Tabel B.1 NCRRP 151 [13].
- Fraksi kebocoran dan hamburan radiasi ( $\psi$ ) ditentukan berdasarkan data pabrikan Accuray<sup>TM</sup>. Nilai interpolasi fraksi kebocoran dan hamburan radiasi yang nilainya dikalkulasi dengan memperhatikan jarak dari isocenter ke titik proteksi dan data kebocoran dan hamburan dari pabrikan tomoterapi (Accuray).
- Shielding design goal* (*P*) untuk pekerja radiasi (daerah pengendalian) menggunakan nilai 0,05 mSv/minggu dan untuk anggota masyarakat (daerah supervisi) menggunakan nilai 0,01 mSv/minggu. Nilai *P* tersebut mengacu pada NCRP 151 dan menerapkan 2 (dua) kali margin keselamatan [13] dan bangunan fasilitas radioterapi didesain sesuai dengan persyaratan proteksi radiasi sehingga paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat memenuhi ketentuan pembatas dosis sebagaimana tertuang dalam Pasal

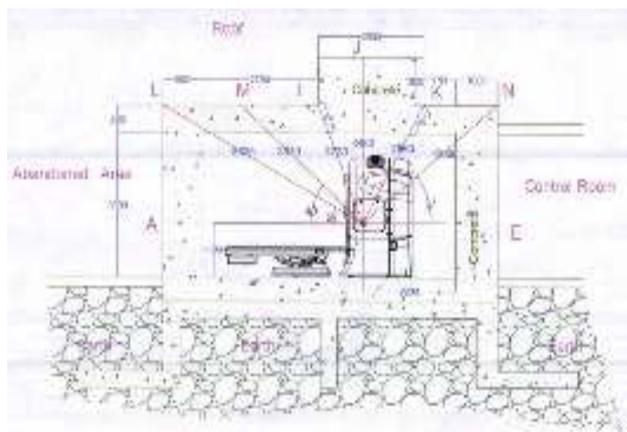
41 Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 [12].

- Faktor transmisi perisai radiasi primer dan sekunder (kebocoran dan hamburan) hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5. Nilai faktor transmisi untuk pintu masuk pasien ke ruang Tomoterapi dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil akhir perhitungan perisai radiasi adalah kesimpulan mengenai tebal perisai radiasi primer dan sekunder (kebocoran dan hamburan) untuk setiap daerah yang diproteksi seperti ditunjukkan pada Gambar 6 [13, 14]. Adapun perbandingan tebal perisai hasil kalkulasi dengan tebal perisai *existing* bunker Teleterapi Cobalt 60 ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 7.



**Gambar 3.** Desain bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art (*as built design*) skala 1:50 penampang lintang tampak atas [11]



**Gambar 4.** Desain bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art (*as built design*) skala 1:50 penampang lintang tampak samping [11]

**Tabel 1.** Faktor transmisi perisai radiasi primer dan sekunder (kebocoran dan hamburan)

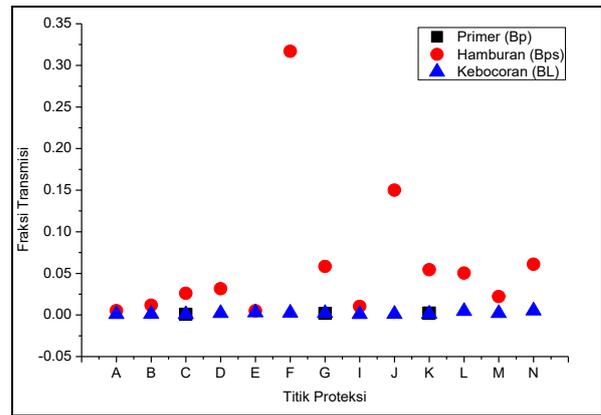
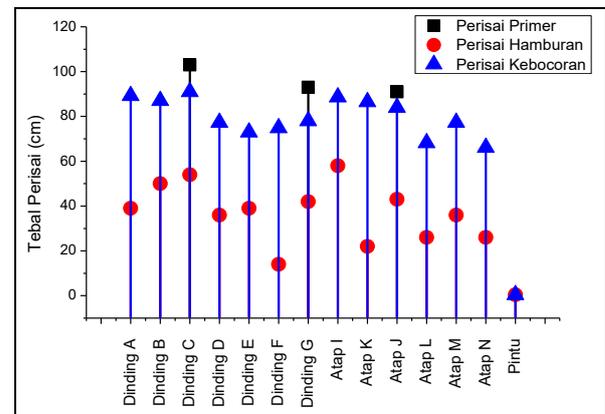
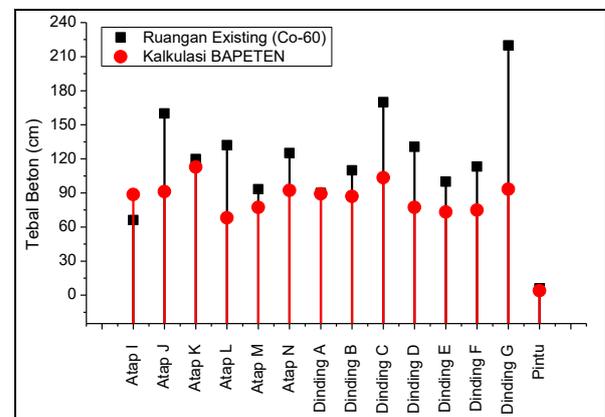
Titik Proteksi	P (Sv/mgg)	T	Faktor Transmisi		
			Primer (B <sub>p</sub> )	Hambur (B <sub>ps</sub> )	Bocor (B <sub>l</sub> )
Dinding A	$1 \times 10^{-5}$	0,2	-	$5,19 \times 10^{-3}$	$8,38 \times 10^{-4}$
Dinding B	$5 \times 10^{-5}$	0,5	-	$1,17 \times 10^{-2}$	$9,97 \times 10^{-4}$
Dinding C	$5 \times 10^{-5}$	0,5	$9,67 \times 10^{-4}$	$2,59 \times 10^{-2}$	$7,32 \times 10^{-4}$
Dinding D	$1 \times 10^{-5}$	0,05	-	$3,15 \times 10^{-2}$	$2,16 \times 10^{-3}$
Dinding E	$5 \times 10^{-5}$	1	-	$5,02 \times 10^{-3}$	$2,99 \times 10^{-3}$
Dinding F	$5 \times 10^{-5}$	0,05	-	$3,17 \times 10^{-1}$	$2,60 \times 10^{-3}$
Dinding G	$5 \times 10^{-5}$	0,5	$1,96 \times 10^{-3}$	$5,82 \times 10^{-2}$	$2,05 \times 10^{-3}$
Atap I	$1 \times 10^{-5}$	0,025	-	$1,03 \times 10^{-2}$	$8,79 \times 10^{-4}$
Atap K	$1 \times 10^{-5}$	0,025	-	$1,50 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-3}$
Atap J	$1 \times 10^{-5}$	0,025	$2,27 \times 10^{-3}$	$5,44 \times 10^{-2}$	$1,29 \times 10^{-3}$
Atap L	$1 \times 10^{-5}$	0,025	-	$5,03 \times 10^{-2}$	$4,45 \times 10^{-3}$
Atap M	$1 \times 10^{-5}$	0,025	-	$2,21 \times 10^{-2}$	$2,16 \times 10^{-3}$
Atap N	$1 \times 10^{-5}$	0,025	-	$6,09 \times 10^{-2}$	$5,25 \times 10^{-3}$

**Tabel 2.** Faktor transmisi perisai radiasi untuk pintu

Titik Proteksi	P (Sv/mgg)	U	Faktor Transmisi		
			H <sub>ps</sub>	H <sub>ls</sub>	H <sub>lt</sub>
Pintu	$5 \times 10^{-5}$	1	$4,74 \times 10^{-5}$	$1,75 \times 10^{-4}$	$9,56 \times 10^{-6}$

**Tabel 3.** Perbandingan tebal perisai radiasi *existing* Cobalt 60 dan kalkulasi perisai radiasi untuk tomoterapi.

No	Lokasi	Tebal dinding (cm)	
		Kalkulasi	Existing
1	A (Ruang UPS)	89,22	90
2	B (Bunker Linac)	87,03	109,9
3	C (Bunker Linac)	103,48	170,0
4	D (Ruang Server)	77,29	130,5
5	E (Ruang Panel Kendali)	73,22	100,0
6	F (Ruang Ganti Pasien)	74,94	113,3
7	G (Bunker Brakhiterapi)	93,33	220
8	Atap I (Area Kosong)	88,63	66,2
9	Atap K (Ruang Rekam Medis & Logistik)	112,72	119,9
10	Atap J (Atap bag. atas)	91,23	160,0
11	Atap L (Ruang Chiller)	68,19	132,2
12	Atap M (Area Kosong)	77,29	93,3
13	Atap N (Ruang Rekam Medis & Logistik)	92,31	125,2
14	Maze	-	117,9
15	Pintu	4 mm Lead	6 mm Lead

**Gambar 5.** Grafik nilai faktor transmisi perisai radiasi primer dan sekunder**Gambar 6.** Grafik tebal perisai radiasi primer dan sekunder**Gambar 7.** Grafik perbandingan perisai radiasi *existing* dan kalkulasi untuk tomoterapi

### II.3 Pengukuran Paparan Radiasi di Sekitar Bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art

Pengukuran paparan radiasi dilakukan menggunakan surveymeter merk RadEye™ PRD nomor seri: 30538 dan 30477 (ThermoScientific™) yang telah terkalibrasi oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN. TomoPhantom (Tomotherapy Inc. Corp, Middleton, WI) diletakkan di isocenter berkas utama sebagai media penghambur yang merepresentasikan tubuh manusia.

Survei radiasi diukur dengan menggunakan kondisi penyinaran maksimum yaitu energi 6 MV,

*Monitor Unit (MU)* maksimum, dengan luas lapangan *jaw* maksimum yaitu  $5 \times 40 \text{ cm}^2$  dengan SAD 85 cm. Adapun titik pengukuran paparan radiasi meliputi ruang UPS (A), bunker Linac (B dan C), ruang server (D), ruang panel kendali (E), ruang ganti pakaian pasien (F), bunker Brakhiterapi (G), atap bunker yang ada tingkat hunian ruang logistik dan rekam medik (K dan N), atap ruang *chiller* (L), atap area kosong (I, J, dan M), dan pintu masuk ruang *treatment Tomoterapi*.

Mode pengukuran paparan radiasi dilakukan pada kondisi sumber radiasi Tomoterapi rotasi helikal dan statis dengan sudut sumber radiasi  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan  $270^\circ$ . Pengukuran paparan radiasi diukur di setiap titik pengukuran dengan metode 3 (tiga) kali pengukuran di titik yang berdekatan, adapun jarak pengukuran adalah 30 cm dari dinding terluar bunker Tomoterapi.

Pengukuran mode penyinaran rotasi helikal dilakukan di 14 (empat belas) lokasi titik pengukuran seperti tertera dalam Tabel 5. Adapun untuk mode penyinaran statis sudut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  dan  $270^\circ$  dilakukan di lokasi seperti tertera dalam Tabel 6. Pengukuran sudut  $90^\circ$  dan  $270^\circ$  tidak dilakukan untuk daerah atap, hal ini mempertimbangkan bahwa pada sudut tersebut berkas radiasi tidak mengarah ke atap akan tetapi mengarah ke dinding samping yaitu bunker Linac dan bunker Brakhiterapi. Khusus untuk pengukuran mode penyinaran statis dengan sudut  $180^\circ$ , penyinaran radiasi tidak menggunakan TomoPhantom hal ini dimaksudkan untuk menguji kondisi perisai radiasi bagian atap pada kondisi maksimum/kondisi terburuk (*worst situation*) tanpa menggunakan medium penghambur [13-15].

Hasil pengukuran paparan radiasi (survei radiasi) yang diperoleh dari berbagai titik pengukuran dan beberapa mode penyinaran akan dikomparasikan dengan hasil perhitungan evaluasi desain bunker Tomoterapi, selanjutnya dilakukan evaluasi dan analisis mengenai kecukupan bunker Teleterapi Cobalt 60 yang digunakan sebagai bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art sehingga dapat diambil kesimpulan mengenai kecukupan pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi terhadap bunker tersebut.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Makalah ini mendiskusikan tentang hasil verifikasi pengukuran paparan radiasi primer dan sekunder di sekitar bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art untuk menguji perisai radiasi (*shielding*) Tomoterapi Helikal dalam pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi. Selain itu, survei radiasi dilakukan untuk menguji kebenaran hasil kalkulasi evaluasi perisai radiasi yang telah dilaksanakan dalam proses perizinan konstruksi radioterapi Tomoterapi. BAPETEN sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia, memiliki tugas untuk melakukan verifikasi terhadap permohonan izin operasi radioterapi sebelum izin operasi diterbitkan, salah satu parameter verifikasi adalah pengukuran paparan radiasi (survei radiasi) untuk memastikan kecukupan desain bunker Tomoterapi dalam pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi dan publik serta lingkungan.

Kebocoran radiasi sangat erat kaitannya dalam pertimbangan *shielding* Tomoterapi Helikal, hal ini terkait dengan adanya peningkatan *beam-on time* saat

pemberian dosis ke target tumor sehingga dalam mendesain perisai radiasi diperlukan pertimbangan khusus, terutama untuk kebocoran radiasi [4]. *Beam-on time* yang dibutuhkan dalam pemberian dosis ke target tumor sangat meningkat sehingga terjadi peningkatan beban kerja mingguan yang lebih tinggi dibandingkan pada terapi radiasi konvensional (Teleterapi Cobalt 60 dan Linac 3DCRT).

Pengukuran paparan radiasi dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) mode yaitu mode penyinaran rotasi helikal dan mode penyinaran statis 4 (empat) sudut utama dengan kondisi energi 6 MV, monitor unit (MU) maksimum dan luas lapangan penyinaran maksimum  $5 \times 40 \text{ cm}^2$ , hal ini mencerminkan untuk kondisi riil di lapangan untuk kasus kanker dengan ukuran tumor yang besar.

Nilai laju dosis yang telah ditetapkan oleh pemohon izin dan nilai laju dosis hasil evaluasi perhitungan yang telah dilakukan oleh evaluator BAPETEN untuk setiap lokasi titik proteksi ditunjukkan dalam Tabel 4. Mengacu pada hasil kalkulasi seperti tertera dalam Tabel 4 tersebut bahwa nilai laju dosis untuk lokasi atap I melebihi nilai laju dosis yang telah ditetapkan (*shielding design goal*) yaitu sebesar  $2,97 \mu\text{Sv/jam}$ . Hasil ini selaras dengan kondisi *existing* tebal dinding yang tersedia (*existing*) setebal 66,2 cm sedangkan hasil perhitungan setebal 88,63 cm.

Nilai laju dosis hasil pengukuran paparan radiasi Tomoterapi Helikal mode penyinaran rotasi helikal ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 8, sedangkan untuk mode penyinaran statis sudut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan  $270^\circ$  ditunjukkan dalam Tabel 6, Gambar 9, dan Gambar 10.

Hasil pengukuran paparan radiasi mode penyinaran rotasi helikal menunjukkan bahwa nilai laju dosis terbesar adalah daerah Atap I sebesar  $2,98 \pm 0,20 \mu\text{Sv/jam}$  dan pintu sebesar  $6,72 \pm 0,07 \mu\text{Sv/jam}$ , nilai laju dosis tersebut melebihi nilai *shielding design goal* yang telah ditetapkan. Hasil kalkulasi dengan hasil pengukuran lokasi Atap I menunjukkan hasil yang relatif sama dengan hasil kalkulasi, akan tetapi untuk lokasi pengukuran daerah pintu hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai laju dosis lebih besar dari hasil kalkulasi yaitu hasil kalkulasi sebesar  $0,48 \mu\text{Sv/jam}$ , sedangkan hasil pengukuran sebesar  $6,72 \pm 0,07 \mu\text{Sv/jam}$ . Hal ini terjadi karena pada daerah pintu terdapat celah  $\pm 3 \text{ cm}$  artinya pintu *treatment Tomoterapi* tidak tertutup rapat sehingga menyebabkan nilai laju dosis lebih besar daripada hasil kalkulasi.

**Tabel 4.** Laju dosis *shielding design goal* dan laju dosis hasil perhitungan tebal dinding *existing*

No	Lokasi	Kategori Daerah	<i>Shielding Design Goal</i>	Laju Dosis Hasil
			(P)	Perhitungan
			$\mu\text{Sv/jam}$	$\mu\text{Sv/jam}$
1	A (Ruang UPS)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$2,35 \times 10^{-1}$
2	B (Bunker Linac)	Pengendalian	$1,25 \times 10^0$	$2,04 \times 10^{-1}$
3	C (Bunker Linac)	Pengendalian	$1,25 \times 10^0$	$8,28 \times 10^{-1}$
4	D (Ruang Server)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$7,31 \times 10^{-2}$
5	E (Ruang Panel Kendali)	Pengendalian	$1,25 \times 10^0$	$1,49 \times 10^{-1}$
6	F (Ruang Ganti)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$1,19 \times 10^{-2}$

7	G (Bunker Brakhiterapi)	Pengendalian	$1,25 \times 10^0$	$2,80 \times 10^{-2}$
8	Atap I (Kosong)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$2,97 \times 10^0$
9	Atap K (Ruang Rekam Medis & Logistik)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$1,79 \times 10^{-2}$
10	Atap J (Dinding Primer Atap)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$8,18 \times 10^{-2}$
11	Atap L (Ruang Chiller)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$3,10 \times 10^{-2}$
12	Atap M (Kosong)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$7,03 \times 10^{-2}$
13	Atap N (Ruang Rekam Medis & Logistik)	Supervisi	$2,50 \times 10^{-1}$	$1,74 \times 10^{-2}$
15	Pintu	Pengendalian	1,25E+00	$4,88 \times 10^{-1}$

8	Atap K (RM & Logistik)	-	-	$0,02 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,01$
9	Atap J (Dinding Primer Atap)	-	-	$0,21 \pm 0,02$	$0,31 \pm 0,01$
10	Atap L (Ruang Chiller)	-	-	$0,04 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,03$
11	Atap M (Area Kosong)	-	-	$0,12 \pm 0,02$	$0,26 \pm 0,02$
12	Atap K (RM & Logistik)	-	-	$0,01 \pm 0,00$	$0,03 \pm 0,02$
13	Pintu	$4,89 \pm 0,16$	$6,69 \pm 0,34$	$4,47 \pm 0,15$	$2,97 \pm 0,21$

**Tabel 5.** Nilai laju dosis pengukuran paparan radiasi tomoterapi mode rotasi helikal

No	Lokasi Pengukuran	Nilai Laju Dosis ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )
1	A (Ruang UPS)	$0,15 \pm 0,02$
2	B (Bunker Linac)	$0,07 \pm 0,02$
3	C (Bunker Linac)	$0,31 \pm 0,04$
4	D (Ruang Server)	$0,10 \pm 0,02$
5	E (Ruang Panel Kendali)	$0,19 \pm 0,03$
6	F (Ruang Ganti)	$0,28 \pm 0,02$
7	G (Bunker Brakhiterapi)	$0,07 \pm 0,03$
8	Atap I (Area Kosong)	$2,98 \pm 0,20$
9	Atap K (Ruang Rekam Medis & Logistik)	$0,02 \pm 0,01$
10	Atap J (Dinding Primer Atap)	$0,06 \pm 0,01$
11	Atap L (Ruang Chiller)	$0,05 \pm 0,01$
12	Atap M (Area Kosong)	$0,24 \pm 0,01$
13	Atap N (Ruang Rekam Medis & Logistik)	$0,03 \pm 0,01$
15	Pintu	$6,72 \pm 0,07$

Hasil pengukuran paparan radiasi mode penyinaran statis menunjukkan bahwa nilai laju dosis terbesar adalah mode daerah Atap I dan pintu. Nilai laju dosis daerah atap I terbesar terjadi pada mode penyinaran statis sudut  $180^\circ$  sebesar  $5,74 \pm 0,06 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ , akan tetapi untuk sudut penyinaran  $0^\circ$  nilainya sebesar  $2,88 \pm 0,07 \mu\text{Sv}/\text{jam}$  yang nilainya relatif sama dengan mode rotasi helikal dan hasil kalkulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

**Tabel 6.** Nilai laju dosis pengukuran paparan radiasi tomoterapi mode statis sudut  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan  $270^\circ$

No	Lokasi Pengukuran	Sudut Penyinaran			
		$90^\circ$	$270^\circ$	$0^\circ$	$180^\circ$
1	B (Bunker Linac)	$0,04 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,01$	-	-
2	C (Bunker Linac)	$0,26 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,03$	-	-
3	D (Ruang Server)	$0,19 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$
4	E (Ruang Panel Kendali)	$0,36 \pm 0,03$	$0,38 \pm 0,08$	$0,12 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,01$
5	F (Ruang Ganti)	$0,19 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,03$
6	G (Bunker Brakhiterapi)	$0,11 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,03$	-	-
7	Atap I (Area Kosong)	-	-	$2,88 \pm 0,07$	$5,74 \pm 0,06$

Nilai laju dosis mode statis sudut  $180^\circ$  nilainya lebih besar, hal ini terjadi karena pada penyinaran tersebut berkas radiasi utama mengarah ke atas (atap) dan dalam penyinaran tidak ada obyek TomoPhantom sehingga nilai laju dosisnya lebih besar dibandingkan dengan mode rotasi helikal maupun mode statis sudut  $0^\circ$ . Nilai laju dosis di lokasi atap I tersebut melebihi nilai *shielding design goal* dan pembatas dosis yang telah ditetapkan.

Nilai laju dosis hasil pengukuran pada daerah pintu menunjukkan bahwa nilai laju dosis terbesar adalah pada mode statis sudut  $270^\circ$  yaitu sebesar  $6,69 \pm 0,34 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Hal ini terjadi karena selain pada daerah pintu terdapat celah  $\pm 3$  cm, pada sudut tersebut berkas radiasi utama mengarah ke maze bunker yang berhubungan dengan pintu treatment Tomoterapi.

Pada faktanya luas lapangan maksimum Tomoterapi  $5 \times 40 \text{ cm}^2$  hanya digunakan untuk kasus-kasus dengan ukuran tumor yang besar, akan tetapi dalam melakukan evaluasi terhadap perisai radiasi primer tetap mengasumsikan bahwa luas lapangan maksimum untuk mengantisipasi kondisi terburuk (*worst situation*). Evaluasi Perisai radiasi (*shielding*) primer tetap mempertimbangkan kehadiran transmisi dari *lead beam stopper (LBS)*. Berdasarkan hasil pengukuran yang diambil pada jarak 1,36 m di bawah isocenter menggunakan detektor kamar ionisasi volume besar menunjukkan bahwa *LBS* dengan ketebalan 13 cm dapat mereduksi transmisi radiasi primer sampai 0,4% terhadap *output* terkalibrasi pada isocenter. Pengaruh atenuasi terhadap perisai radiasi menjadi pertimbangan dalam evaluasi perhitungan perisai radiasi tomoterapi [10].

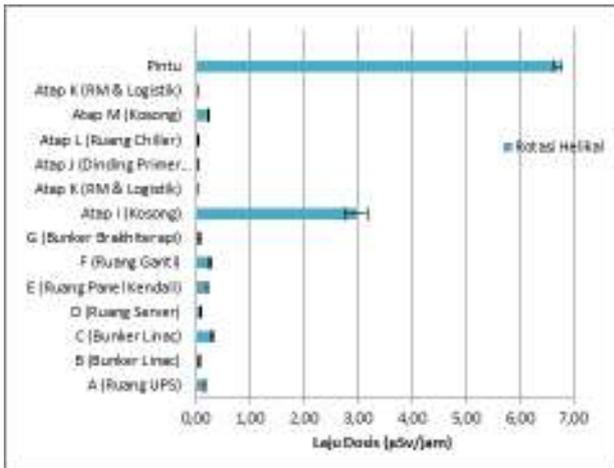
Kontribusi radiasi hambur pada Tomoterapi juga telah direduksi dengan adanya perangkat *multi leaf collimator (MLC)* dengan ketebalan 10 cm yang terbuat dari tungsten, tetapi pesawat Tomoterapi Helikal tidak dilengkapi dengan perangkat modifikasi berkas radiasi (*beam modifier*) seperti *flattening filter*, *scattering foil*, *wedges*, dan lain-lain seperti pesawat Linac pada umumnya, sehingga kontribusi radiasi hambur di *head* tomoterapi dapat diabaikan.

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai laju dosis hasil kalkulasi relatif sama dengan hasil pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker tomoterapi, kecuali untuk daerah atap I dan pintu hal ini disebabkan adanya tidak ketidaksesuaian antara desain pintu yang dibangun yaitu adanya celah yang menyebabkan nilai laju dosis melebihi nilai pembatas dosis (*dose constraint*) dan *shielding design goal*. Untuk daerah atap deviasi yang cukup signifikan terjadi pada sudut penyinaran  $180^\circ$ , hal ini terjadi karena

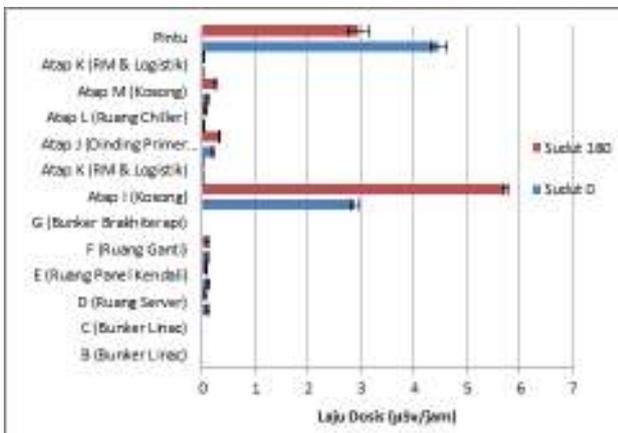
pada penyinaran mode ini tidak digunakan TomoPhantom sebagai simulasi pasien sehingga nilai laju dosis lebih besar daripada mode rotasi helikal dan mode statis sudut penyinaran lainnya.

Hasil verifikasi terhadap perisai radiasi (bunker) tomoterapi secara umum menunjukkan bahwa hasil evaluasi perhitungan desain perisai radiasi tomoterapi relatif sama dengan hasil survei radiasi di lapangan dan nilai laju dosis tidak melebihi nilai pembatas dosis (*dose constraint*) dan *shielding design goal*, kecuali untuk daerah pintu dan daerah atap I.

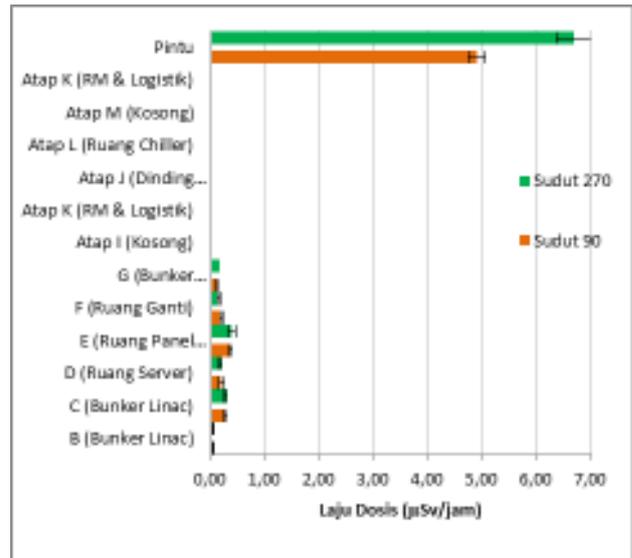
Perlu upaya proteksi radiasi yang harus dilakukan oleh pemohon izin untuk daerah pintu yaitu memperbaiki sistem buka tutup pintu agar pintu dapat menutup dengan rapat, sehingga laju dosis di depan pintu dan ruang ganti pakaian pasien lebih rendah dari nilai pembatas dosis (*dose constraint*) dan *shielding design goal*. Adapun untuk daerah atap, untuk membatasi akses anggota masyarakat maka pemohon izin harus memasang teralis yang dilengkapi dengan tanda radiasi sehingga akses orang yang tidak berkepentingan (anggota masyarakat) dapat dibatasi, mengingat kondisi di lapangan tidak memungkinkan menambah tebal beton untuk daerah atap I ruang *existing* radioterapi Cobalt 60 karena terkait kekuatan struktur beton .



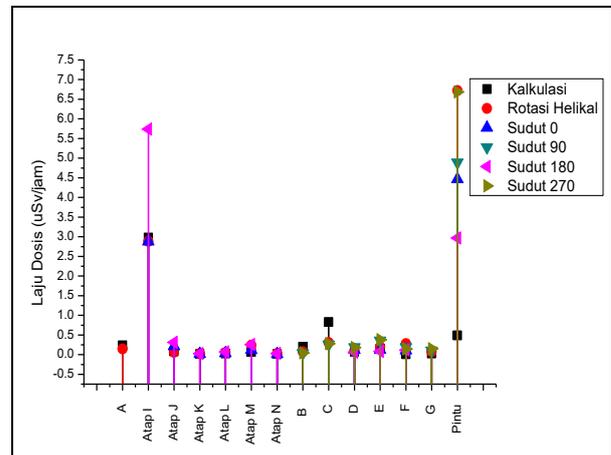
Gambar 8. Grafik Nilai laju dosis pengukuran paparan radiasi tomoterapi mode rotasi helikal



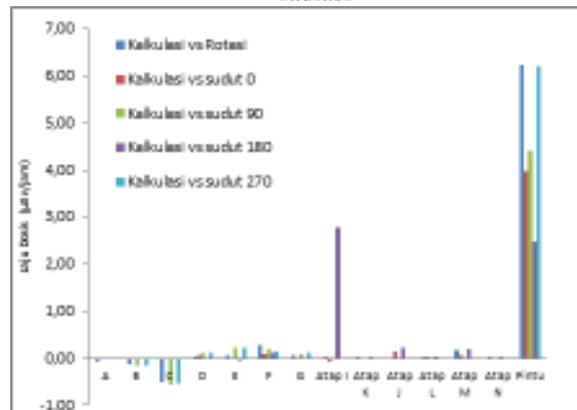
Gambar 9. Grafik Nilai laju dosis pengukuran paparan radiasi tomoterapi mode statis sudut 0° dan sudut 180°



Gambar 10. Grafik Nilai laju dosis pengukuran paparan radiasi tomoterapi mode statis sudut 90° dan sudut 270°



Gambar 11. Grafik perbandingan nilai laju dosis hasil kalkulasi dengan hasil verifikasi pengukuran paparan radiasi



Gambar 12. Grafik deviasi hasil kalkulasi dengan hasil verifikasi pengukuran paparan radiasi

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil verifikasi di fasilitas Tomoterapi Helikal Hi-Art dapat disimpulkan bahwa:

- a. Perisai radiasi sekunder kebocoran radiasi menjadi perhatian utama. Hal ini disebabkan waktu iradiasi (*beam-on time*) yang cukup lama, kebocoran radiasi pada *head* akselerator tomoterapi menjadi meningkat sehingga terjadi peningkatan beban kerja mingguan yang lebih tinggi dibandingkan pada terapi radiasi konvensional;
- b. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil kalkulasi dan hasil verifikasi terhadap desain perisai radiasi (bunker) Tomoterapi yang menggunakan bunker Teleterapi Cobalt 60 yang telah dilimbankan;
- c. Secara umum bahwa hasil verifikasi survei radiasi primer, kebocoran radiasi, dan hamburan radiasi pada bunker Tomoterapi Helikal Hi-Art memenuhi persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi, yaitu nilai laju dosis di sekitar bunker berada di bawah *shielding design goal* yang telah ditetapkan oleh pemohon izin dan nilai pembatas dosis (*dose constraint*) yang telah ditetapkan oleh BAPETEN, kecuali untuk daerah pintu dan atap; dan
- d. Tomoterapi Helikal Hi-Art dapat dioperasikan untuk layanan pasien radioterapi setelah memenuhi persyaratan izin yang mencakup pemenuhan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi, salah satunya adalah memperbaiki pintu agar pintu dapat tertutup rapat dan memasang teralis yang dilengkapi dengan tanda radiasi pada daerah atap sehingga dapat membatasi akses anggota masyarakat ke daerah atap.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. J. Bailat, S. Baechler, R. Moeckli, M. Pachoud, O. Pisaturo, and F. O. Bochud, "The concept and challenges of TomoTherapy accelerators," *Reports on Progress in Physics*, vol. 74, p. 086701, 2011.
- [2] A. Beavis, "Is tomotherapy the future of IMRT?," *The British journal of radiology*, 2014.
- [3] T. R. Mackie, T. Holmes, S. Swerdloff, P. Reckwerdt, J. O. Deasy, J. Yang, et al., "Tomotherapy: a new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy," *Medical physics*, vol. 20, pp. 1709-1719, 1993.
- [4] S. Baechler, F. O. Bochud, D. Verellen, and R. Moeckli, "Shielding requirements in helical tomotherapy," *Physics in medicine and biology*, vol. 52, p. 5057, 2007.
- [5] P. H. McGinley, *Shielding techniques for radiation oncology facilities: Medical Physics* Madison, Wisconsin, 2002.
- [6] S. Mutic and D. Low, "Whole-body dose from tomotherapy delivery," *International Journal of Radiation Oncology\* Biology\* Physics*, vol. 42, pp. 229-232, 1998.
- [7] D. Robinson, J. Scrimger, G. Field, and B. Fallone, "Shielding considerations for tomotherapy," *Medical physics*, vol. 27, pp. 2380-2384, 2000.
- [8] M. West and A. Sen, "SU-FF-T-453: Verification of Head Leakage as the Primary Source of Shielded Radiation From a Tomotherapy Unit," *Medical Physics*, vol. 33, pp. 2149-2149, 2006.
- [9] Mukhlisin dan Wita Kustiana, (2016), *Evaluasi Perisai Radiasi Tomoterapi Helikal Terhadap Penggunaan Ruang Teleterapi Cobalt 60*, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, ISSN: 1412-3258.
- [10] Accuray, "TomoTherapy Hi-Art System, Site Planning guide," 2012.
- [11] RSCM, "Blueprint Radioterapi Tomoterapi," Existing Bunker Cobalt 60, 2016.
- [12] BAPETEN, "Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi," 2013.
- [13] NCRP, "Structural shielding design and evaluation for megavoltage x- and gamma-ray radiotherapy facilities," *National Council on Radiation Protection and Measurements* 151, 2005.
- [14] IAEA, "Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities," *Safety Reports Series No. 47*, 2006.
- [15] R. A. Kinkhikar, S. Jamema, R. Pai, P. D. Sharma, and D. D. Deshpande, "Radiation survey of first Hi-Art II Tomotherapy vault design in India," *Radiation Measurements*, vol. 44, pp. 188-192, 2009.

## PENENTUAN DOSIS SERAP AIR BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION NO. SERI 6428

Assef Firnando Firmansyah<sup>1</sup>, Sri Inang Sunaryati<sup>1</sup>, Nurman Rajagukguk<sup>1</sup>, Gatot Wurdianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

Email: firnando3154@gmail.com

### ABSTRAK

Makalah ini menguraikan pengukuran luaran berkas radiasi Co-60 untuk kolimator 16 mm dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428. Pengukuran dilakukan di dalam fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* berdiameter 160 mm menggunakan detektor ionisasi Pinpoint 3D volume 0,016 cc tipe PTW 31016 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Detektor diletakkan di pusat fantom dan disinari selama 1 menit. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 buah. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap air adalah 3,67 Gy/menit.

**Kata kunci** : Pisau Gamma Leksell Perfexion, dosis serap air, *ELEKTA solid water spherical phantom*

### ABSTRACT

*This paper describe the measurement of the output for a 16 mm collimator of the Leksell Gamma Knife Perfexion serial number 6428. Measurement has been carried out by using a 0.016 cc ionization chamber type of PTW 31016 connected with a PTW Unidos Weblin electrometer type of T 10022. The chamber was inserted into an ELEKTA solid water spherical phantom with 160 mm in diameter and irradiated for 1 minute. Five data were acquired for each measurement The results obtained showed that the absorbed dose to water of the Leksell Gamma Knife Perfexion was 3.67 Gy/minute*

**Keywords** : *Leksell Gamma Knife Perfexion, absorbed dose to water, ELEKTA solid water spherical phantom*

## I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2017 Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo mengoperasikan sebuah pesawat pisau gamma Leksell model Perfexion no. seri 6428 dan ini merupakan pesawat pisau gamma yang kedua di Indonesia setelah Rumah Sakit Siloam Karawaci (*Gamma Knife Center of Indonesia*)<sup>1,2</sup>.

Pesawat pisau gamma Leksell model Perfexion no seri 6428 ini menggunakan sumber radiasi Co-60 sebanyak 192 dengan aktivitas rata-rata masing - masing sumber radiasi 1,1 TBq ( 30 Ci), dengan demikian aktivitas total 214,40 TBq ( 5799 Ci) pada tanggal 1 April 2017<sup>3</sup>. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428

Setelah selesai dipasang pada tanggal 14 Mei 2017, maka dilakukan pengukuran oleh pihak fabrikasi dalam rangka commissioning dari pesawat pisau gamma tersebut. Salah satu besaran yang diukur adalah laju dosis serap air pada posisi penyinaran menggunakan kolimator 16 mm yang mendapatkan nilai laju dosis serap air 3,67 Gy/ menit 4.

Sesuai dengan ketentuan yang dikeluarkan oleh BAPETEN, pesawat pisau gamma tersebut harus dikalibrasi oleh Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN dalam rangka izin penggunaan zat radioaktif 5.

Makalah ini menguraikan pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Perfexion no. seri 6428 yang dilakukan di Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta.

## II. METODA

### 2.1. Penentuan Dosis Transit Untuk Kolimator 16 mm

Sumber sumber radiasi Co-60 di dalam pesawat pisau gamma bergerak ke posisi penyinaran pada awal dan di antara penyinaran. Jadi untuk mencapai posisi kolimator 16 mm, sumber radiasi tersebut harus melewati kolimator 4 mm, dengan

demikian memberikan apa yang disebut “Dosis Transit”.

Satu cara untuk mengukur “Dosis Transit” kolimator 16 mm adalah dengan memberikan dosis yang dibutuhkan dengan dua perlakuan di isosenter fantom. Pertama detektor disinari menggunakan waktu penyinaran tunggal. Selanjutnya detektor disinari dengan dosis yang sama untuk empat kali penyinaran. Dosis Transit dapat ditentukan menggunakan Persamaan 1 di bawah ini <sup>6</sup>:

$$\text{Dosis Transit} = \frac{D_4 - D_1}{3} \text{ Gy/16 mm} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$D_4 - D_1$  : selisih dosis terukur di antara 2 penyinaran  
3 : perbedaan jumlah penyinaran

Pada prinsipnya Persamaan 1 yang digunakan untuk menentukan dosis transit ini tidak berbeda dengan kesalahan penunjukan waktu (timer) untuk mendapatkan koreksi dari luaran yang disebabkan adanya pergerakan sumber radiasi Co-60 dari dan kembali tempat penyimpanan sumber pada pesawat teleterapi Co-60 <sup>7</sup>.

## 2.2. Penentuan Laju Dosis Serap Air Pesawat Pisau Gamma Leksell

Belum ada protokol khusus untuk menentukan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 dari Pesawat Pisau Gamma Leksell. Secara tradisional biasanya pabrik melakukan pengukuran ionisasi di isosenter dengan menempatkan detektor ionisasi di dalam fantom plastik atau air padat. Selanjutnya laju dosis serap air ditentukan menggunakan publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dengan persamaan di bawah ini <sup>7</sup> :

$$D_{W,Q} = M_Q \cdot N_{D,W} \cdot k_{Pol} \cdot k_s \dots\dots\dots (2)$$

dengan

$D_{W,Q}$  : laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 (mGy/menit)

$M_Q$  : bacaan dosimeter terkoreksi terhadap temperature dan tekanan (nC/menit)

$N_{D,W}$  : faktor kalibrasi dosis serap air (mGy/nC)

$k_s$  : faktor koreksi polaritas

$k_s$  : faktor koreksi rekombinasi ion

Meskipun pesawat pisau gamma Leksell Perfexion ini memiliki 3 buah kolimator, namun yang diukur dosis serap airnya hanya untuk kolimator berdiameter 16 mm, sedangkan untuk kolimator 8 mm dan 4 mm ditentukan menggunakan Faktor Luaran OF (*Output Factor*) yang diberikan oleh pabrik. Hal ini telah dibuktikan dari perhitungan program FLUKA Monte Carlo yaitu OF 0,921 dan 0,792 untuk 8mm dan 4mm terhadap perhitungan LGP (Leksell Gamma Plan) dengan hasil OF 0,924 dan 0,805 yang menyatakan perbedaannya sangat kecil (< 2%) <sup>8</sup>.

## III. PERALATAN DAN TATA KERJA

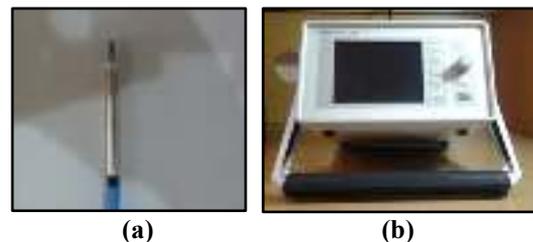
### 3.1. Peralatan

#### 3.1.1. Sumber Radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428 milik Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo. Pesawat ini memiliki 192 buah sumber Co-60 yang dibagi dalam 8 sektor dengan 24 buah sumber radiasi setiap sektornya. Aktivitas total sumber radiasi Co-60 dari pesawat ini adalah 213,40 TBq (5799,0 Ci) pada tanggal 1 April 2017. Untuk keperluan penyinaran pasien, pesawat ini dapat digunakan untuk lapangan radiasi yang dibentuk oleh 3 buah kolimator berdiameter 4, 8 dan 16 mm.

#### 3.1.2. Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor ionisasi PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T10022 no. seri 268. Sistem dosimeter ini tertelusur ke Laboratorium Standar Primer BIPM. Detektor dan elektrometer yang digunakan untuk pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Detektor ionisasi PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 (a) dan elektrometer PTW Unidos Weblin Tipe T10022 no. seri 268 (b)

#### 3.1.3. Fantom

Sebagai media pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6488 ini digunakan fantom *ELEKTA solid water spherical phantom*. Fantom ini terbuat dari bahan dengan karakteristik hamburan dan penyerapan terhadap radiasi yang sama dengan air. Fantom ini merupakan model baru sebagai pengembangan dari fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* yang terbuat polisterene.



**Gambar 3.** Fantom *ELEKTA solid water spherical phantom*

### 3.2. TATA KERJA

#### 3.2.1. Pengukuran Dosis Transit

Pertama-tama fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* dipasang pada pemegangnya (adaptor dosimetri), selanjutnya pemegang fantom tersebut dipasang pada meja pasien. Setelah itu detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 dimasukkan ke dalam fantom tersebut. Kemudian atur waktu penyinaran pada pesawat selama 1 menit. Ambil 1 buah data. Kemudian lakukan hal yang sama untuk waktu penyinaran 15 menit dengan pengambilan data sebanyak 4 buah. Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati.

#### 3.2.2. Penentuan Faktor Koreksi Rekombinasi Ion

Setelah pengukuran untuk menentukan dosis transit selesai, maka dilakukan penentuan faktor koreksi rekombinasi ion yang terdapat pada Persamaan 2. Penentuan faktor rekombinasi ion dilakukan dengan pengukuran menggunakan dua buah tegangan pada detektor. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda  $V_1$  (tegangan normal) dan  $V_2$ . Pengaturan tegangan  $V_1$  dan  $V_2$  sedemikian rupa sehingga  $V_1/V_2$  sekurang-kurangnya = 3. Pengukuran untuk menentukan koreksi rekombinasi ion berkas Co-60 dilakukan di dalam fantom dengan waktu penyinaran = 1 menit. Faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini<sup>7</sup>.

$$K_S = \frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan

- $K_s$  : faktor koreksi rekombinasi ion
- $V_1$  : tegangan normal detektor
- $V_2$  : tegangan detektor sehingga  $V_1/V_2 \geq 3$
- $Q_1$  : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan
- $Q_2$  : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan

#### 3.2.3. Penentuan Efek Polaritas

Penentuan faktor koreksi polaritas dilakukan dengan cara memberikan detektor tegangan positif dan negatif pada kondisi pengukuran yang sama. Faktor koreksi polaritas,  $k_{pol}$  ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini<sup>7</sup>:

$$k_{pol} = \frac{|I_+| + |I_-|}{2 |I|} \dots\dots\dots 4$$

dengan

- $I_+$  : arus yang terukur dengan tegangan detektor positif
- $I_-$  : arus yang terukur dengan tegangan detektor negatif
- $I$  : arus yang terukur dengan tegangan detektor normal

Setelah pengukuran faktor –faktor koreksi yang diperlukan untuk penentuan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 selesai, maka detektor disinari kembali untuk 1 menit penyinaran. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Selama pengukuran, temperatur dan tekanan udara diamati.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Penentuan dosis transit pada kolimator 16 mm

Hasil pengukuran Dosis Transit untuk kolimator 16 mm dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Data pengukuran kesalahan penunjukan waktu pesawat

Bacaan (nC/60 detik), R1	Bacaan (nC/15 detik), R2
1,456	0,366
	0,366
	0,366
	0,366
$R_1 = 1,456$	$\Sigma R_2 = 1,464$

Dengan menggunakan Persamaan 1 dan faktor kalibrasi dosimeter akan diperoleh Dosis Transit untuk kolimator 16 mm pesawat sebesar 8,35 mGy/menit. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa luaran pesawat mendapatkan kepadatan-ulangan yang baik.

### 4.2. Penentuan Laju Dosis Serap Air

Hasil pengukuran laju dosis serap air dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dengan detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 menggunakan fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* yang dihitung dengan Persamaan 3 dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan laju dosis serap air pesawat Co-60 yang diukur dengan detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507

Fantom	$M_0$ (nC/menit)	$N_{D,w}$ (mGy/nC)	$K_S$	$K_{pol}$	$D_{w,0}$ (Gy/menit)
<i>ELEKTA solid water spherical phantom</i>	1457	2514	1,00102	1,00491	3,683 ± 2%

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air yang diperoleh menggunakan *ELEKTA solid water spherical phantom* padat mendapatkan nilai 3,683 Gy/menit. Dengan laju dosis serap air 3,683 Gy/menit, maka Dosis Transit sebesar 8,35 mGy/menit dapat dikatakan kecil dan bisa diabaikan.

Jika dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan pihak fabrikasi yang mendapatkan laju dosis

serap air 3,67 Gy/menit, maka terdapat perbedaan yang kecil sebesar 0,3 %.

Jika mengacu pada pengukuran pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6121 milik Rumah Sakit Siloam Karawaci yang mempunyai aktivitas total 5329,8 Ci, laju dosis serapnya mendapatkan nilai 3,400 Gy/menit. Dengan membandingkan kedua pengukuran diperoleh kesesuaian yang cukup baik dengan deviasi sebesar 0,8 %.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Dosis Transit untuk kolimator mendapatkan nilai yang kecil sehingga dapat diabaikan.
- Kedapat-ulangan luaran pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion sangat baik

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta dan PT Besindo Medi Prima atas kesempatan yang diberikan untuk penggunaan fasilitas Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] NAZAROH dkk, Leksell Gamma Knife (LGK) Perfexion/6121, Pertama di Indonesia dan Verifikasi Keluarannya, Prosiding PPI Standardisasi 2012, Badan Standardisasi Nasional, 2012
- [2] ASSEF FIRNANDO FIRMANSYAH dkk, Stabilitas Luaran Berkas Radiasi Co-60 Pesawat Pisau Gamma Perfexion, Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir 2016, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Nasional Yogyakarta, 2016
- [3] Sealed source Test Certificate, nordion, <http://www.nordion.com>
- [4] Komunikasi Pribadi dengan staf Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo
- [5] BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Peraturan Kepala BAPETEN tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi, BAPETEN, Jakarta, 2007
- [6] PAULA L. PETTI, Ph.D., Leksell Gamma Knife® Perfexion TM QA Consideration, Taylor Mc Adam Bell Neuroscience Institute, Washington Hospital Healthcare System, Fremont, Ca.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna, 2000
- [8] G. Battistoni, N. Bertolino, M. G. Brambilla, F. Cappucci, H. S. Mainardi, A. Torresin, Fluka Monte Carlo Simulation for The Leksell Gamma Knife Perfexion: Homogeneous Media 2011.



## PERFORMA PRODUKSI RADIOFARMAKA *POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET) SCAN* UNTUK PENEGAKAN DIAGNOSA DI RUMAH SAKIT KANKER DHARMAIS

Nurhuda, Listiawadi, Astarina, Ismuha, Kardinah  
*Instalasi Radiodiagnostik Rumah Sakit Kanker Dharmais*  
e-mail: aduh\_run14@yahoo.com

### ABSTRAK

Perkembangan pelayanan dan kebutuhan pemeriksaan kedokteran nuklir PET terus meningkat setiap tahun. Pemeriksaan PET yang di kombinasikan dengan pemeriksaan *Computing Tomography (CT)* atau *Magnetic resonance imaging (MRI)* digunakan untuk mengoptimalkan hasil pembacaan diagnosa dalam menetapkan stadium, evaluasi terpai kanker, dan pemeriksaan kekambuhan, serta pemeriksaan lain. Hal ini menyebabkan kebutuhan radiofarmaka sebagai kontras media dalam pemeriksaan tersebut juga meningkat. Salah satu bagian dalam jaminan mutu pelayanan adalah kontinuitas produksi radionuklida dan radiofarmaka. Kontinuitas dan kehandalan alat untuk memastikan pelayanan PET dipengaruhi oleh pesonel yang mempunyai keahlian khusus, fasilitas yang terpelihara, pengadaan bahan baku yang terkuualifikasi, dan penerapan SOP sebagai sistem tata kerja yang harus dipatuhi. Parameter terukur melalui data batch dari bulan Februari 2012 sampai dengan Mei 2017 adalah 748 batch, dimana terdapat 16 batch yang berrmasalah dalam proses produksi radiofarmaka. Kejadian tersebut terdiri dari 10 batch masalah pada siklotron dan 6 batch bermasalah pada alat sintesis otomatis (explora) radiofarmaka. Pada batch bermasalah tersebut, 7 batch dapat diatasi dengan produksi batch lain, sedangkan sisanya tidak. Rata-rata performa siklotron adalah 30.20 mCi/ $\mu$ A, dimana standar siklotron adalah  $\geq 25$  mCi/ $\mu$ A dengan tren persamaan liniernya  $y = -0.0028x + 31.229$ . Rata-rata hasil sintesis Explora FDG4 adalah 74.62 % dimana standar kualifikasi untuk alat explora adalah  $\geq 65\%$  yang dihitung dari *yield decay correction* dengan tren persamaan liniernya  $y = -0.0201x + 82.154$ . Nilai minus *slave* persamaan linier pada siklotron dan alat sisntesis otomatis adalah normal karena merupakan bagian dari faktor penurunan kinerja alat terkait umur dan penggunaan atau biasa disebut nilai reduksi alat (*live time*).

### ABSTRACT

*The expansion and demand of Positron Emission Tomography (PET) examination in nuclear medicine services increase significantly every year. PET examination could be combined with Computed Tomography (CT) or Magnetic Resonance Imaging (MRI), in order to optimize diagnosis in the case of stadium assessment, cancer therapy evaluation, recurrence assessment, and other purpose As a result, the need for radiopharmaceutical as a contrast medium in the examination also increases. Production continuity of radionuclide and radiopharmaceutical is one of the quality assurance parameter in the nuclear medicine services. The production continuity and robust equipment in PET radiopharmaceutical production are influenced by well trained personnel, well-maintained facility, raw material qualification supply, and the SOP as the standard working procedure. The data parameters are collected from February 2012 until May 2017. The data were consisting of 748 batches, while 16 batch from them have a problem during the radiopharmaceutical process production. The number of problem in cyclotron was 10 batch, while the problem in automatic radiopharmaceutical synthesis was 6 batch. Furthermore 7 batch can be handle successfully to produce another radiopharmaceutical. The average performance of the cyclotron is 30.20 mCi/  $\mu$ A, while the standard trend is  $\geq 25$  mCi /  $\mu$ A with the trend of linear equation is  $y = -0.0028x + 31.229$ . In addition, the mean of the Explora FDG4 synthesis is 74.62%  $\geq$ , while the average yield decay correction is 65% with the trend of linear equation is  $y = -0.0201x + 82.154$ . The minus value of slave linear equations in the cyclotron and the automatic synthesis tool are normal, while it is part of the age-related device performance degradation factor and the live time value.*

**Keywords:** *Cylotron performance, Eclipse RD, Module automatic synthesizer, Explora FDG4, RSKD*

### I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir dalam bidang kedokteran telah dimulai pada tahun 1930 sebagai wujud dari perkembangan ilmu dan teknologi berdasarkan pada proses fisiologi, patofisiologik dan metabolisme dari organ atau sistem yang diteliti sampai pada tingkat molekuler. Dalam bidang kedokteran, telah banyak disiplin ilmu yang memanfaatkan teknologi nuklir dalam bentuk radionuklida dan/atau radiofarmaka

tersebut, antara lain bidang onkologi, neurologi dan kardiologi. Dengan perubahan pola hidup manusia yang mengakibatkan perubahan pada pola penyakit dewasa ini, maka kebutuhan akan pelayanan kedokteran nuklir akan makin meningkat.

Pelayanan kedokteran nuklir sangat tergantung pada suplai dan logistik dari radionuklida dan atau radiofarmaka yang antara lain dihasilkan oleh siklotron. Setiap siklotron dapat memenuhi kebutuhan untuk

beberapa sarana pelayanan kesehatan yang melakukan pelayanan kedokteran nuklir yang membutuhkan radionuklida dan atau radiofarmaka, sesuai kemampuan alat tersebut. Karena radionuklida yang dihasilkan oleh siklotron mempunyai waktu paruh yang pendek dan bahaya radiasi yang ditimbulkan sangat besar, maka keberadaan siklotron tersebut harus memperhitungkan efektifitas dan efisiensi yang sangat tinggi. Hal ini juga dapat mempengaruhi sistem distribusi hasil produksi siklotron.

Penyelenggaraan siklotron di rumah sakit merupakan kegiatan yang sarat dengan teknologi dan biaya tinggi untuk pelayanan kesehatan tingkat tersier, sehingga hanya sarana pelayanan kesehatan tingkat tertentu saja yang layak melaksanakannya<sup>[1]</sup>.

Rumah Sakit Kanker “Dharmais” sebagai rumah sakit khusus di bawah Kementerian Kesehatan mempunyai program dalam penanggulangan kanker di Indonesia. Untuk memenuhi peran itu memanfaatkan teknologi mutakhir yang berbasis *biomolecular* dan *targeted drugs* merupakan sarana pelayanan yang dapat meningkatkan kecepatan dan ketepatan dalam diagnosis kanker, sehingga penangannya optimal. Instalasi Radiodiagnostik Rumah Sakit Kanker Dharmais telah melaksanakan pelayanan diagnostik PET scan sejak tahun 2012 menggunakan radiofarmaka dengan nuklida berbasis siklotron. PET mendiagnosa pasien dari aspek kondisi metabolime dan untuk mendapatkan akurasi tinggi dikombinasi dengan diagnosis anatomi patofisiologik dengan CT Scan atau MRI. Pasien diinjeksikan dengan radiofarmaka sebagai kontras dengan dosis tertentu yang sesuai, selanjutnya pasien diistirahatkan selama 45 sampai 60 menit untuk menunggu obat terdistribusi ke seluruh tubuh, dan selanjutnya pasien discan secara bersamaan antara modalitas PET dan CT atau MRI.

Radiofarmaka adalah produk farmaka/obat yang bersifat radioaktif yang digunakan untuk kepentingan klinis (diagnosis dan/atau terapi). Radiofarmaka PET terutama berbasis siklotron berbeda dengan farmaka pada umumnya karena memiliki waktu paruh yang pendek, sehingga harus disiapkan sesaat sebelum digunakan untuk keperluan klinis. Sebagai sediaan farmasi yang berpotensi bahaya, radiofarmaka perlu penanganan khusus dalam proses pengadaan, penyiapan, produksi, pemastian mutu, penyimpanan dan pendistribusian, terutama untuk pemberian ke pasien dalam lingkungan fasilitas kedokteran nuklir<sup>[2]</sup>.

Radiofarmaka dalam pemeriksaan PET adalah senyawa biomolekul yang mengandung nuklida pemancar positron. Senyawa yang umum dan luas digunakan adalah  $2\text{-}[^{18}\text{F}]\text{fluoro-2-deoxy-D-glucose}$  (FDG). Ada juga senyawa lain radiofarmaka untuk tujuan pemeriksaan tertentu. FDG adalah senyawa glukosa yang salah satu gugus alcohol (OH) disubstitusikan dengan  $^{18}\text{F}$  sebagai nuklida hasil siklotron. FDG mengukur metabolime glukosa di semua sistem organ sehingga meningkatkan metabolime organ tubuh yang terpantau dapat digunakan untuk deteksi stadium kanker, penilaian respon terapeutik, serta penilaian kekambuhan.<sup>[3]</sup>

Untuk memproduksi radiofarmaka FDG diperlukan alat siklotron, alat sintesis otomatis

radiofarmaka, alat dispensing otomatis, peralatan pemastian mutu, bahan baku, dan alat transportasi yang sesuai untuk proteksi radiasi. Selain fasilitas dan bahan tersebut faktor penting lain yang menjadi perhatian adalah personil dan system.

Siklotron adalah peralatan yang digunakan untuk mempercepat gerak partikel bermuatan, secara elektromagnetik, dalam lintasan berbentuk spiral, partikel berenergi tinggi yang dihasilkan dapat digunakan untuk iradiasi sasaran guna memperoleh zat radioaktif<sup>[4]</sup>.

Setelah radionuklida selesai diproduksi selanjutnya adalah diproses menjadi radiofarmaka dengan menggunakan alat sintesis otomatis. Alat ini adalah modul reaksi kimia yang telah dirangkai, disusun dan disesuaikan untuk mendapatkan radiofarmaka tertentu secara otomatis dikendalikan perangkat lunak<sup>[4]</sup>.

## II. METODOLOGI

Tugas pokok rumah sakit adalah memberikan pelayanan kesehatan terhadap masyarakat dan dituntut kontinuitasnya. Faktor yang mempengaruhi produksi adalah personil, fasilitas dan alat alat, bahan baku, dan system yang diharuskan untuk memiliki standar operasional prosedur (SOP) termasuk jadwal pemeliharaan alat.

Untuk memastikan kontinuitas diperlukan parameter penilaian kehandalan. Parameternya dapat dipilih dan bersumber pada kegiatan rutin produksi nuklida  $^{18}\text{F}$  oleh siklotron Eclipse RD sebagai alat utama dan alat sintesis otomatis FDG bernama Explora FDG4 untuk memproduksi radiofarmaka FDG.

Alur pelayanan PET-CT/MRI di RS Kanker Dharmais dimulai dengan perjanjian pasien yang disampaikan kepada Radiofarmasi, selanjutnya dari daftar pasien direncanakan kegiatan produksi radiofarmaka terkait berapa kebutuhan nuklida dan radiofarmaka untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Petugas iradiasi melakukan persiapan produksi siklotron dan Radiofarmasi mempersiapkan alat sintesa otomatis radiofarmaka secara paralel. Kedua alat ini yang menjadi fokus untuk dinilai kehandalannya. Rangkaian kegiatan produksi radiofarmaka dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1: Alur produksi radiofarmaka PET RS kanker Dharmais

**Pengumpulan Data**

Data yang digunakan diambil dari kegiatan produksi yang disebut Batch, mulai awal operasi siklotron tanggal 10 Februari 2012 sampai dengan tanggal 31 Mei 2017 disusun secara berkala.

**Siklotron**

Siklotron yang digunakan adalah Eclipse RD pabrikan dari PT. Siemens memiliki energy maksimum 11 MeV, Target Eclipse RD optimum pada arus 40 µA: 2.000 mCi (74,0 GBq) <sup>18</sup>F [F] di 120 menit dengan target perak tunggal<sup>[4]</sup>. Proses reaksi dalam siklotron adalah sebagai berikut :



Dari spesifikasi siklotron didapat persamaan yang digunakan sebagai acuan untuk menilai kehandalan alat.

$$\text{Waktu (menit)} = \frac{\text{Aktivitas (mCi)} \times \text{Arus (}\mu\text{A)} \times \text{Efisiensi (mCi/}\mu\text{A)}}{60 \times \text{Hasil (mCi/}\mu\text{A)}}$$

Atau

$$\text{Performance standart (mCi/}\mu\text{A)} = \frac{\text{Aktivitas (mCi)} \times 60 \text{ (menit)}}{\text{Waktu (menit)} \times \text{Arus (}\mu\text{A)}}$$

Menjadi

$$\text{Performance standart (mCi/}\mu\text{A)} = \frac{2000 \text{ (mCi)} \times 60 \text{ (menit)}}{(120 \text{ (menit)}) \times 40 \text{ (}\mu\text{A)}}$$

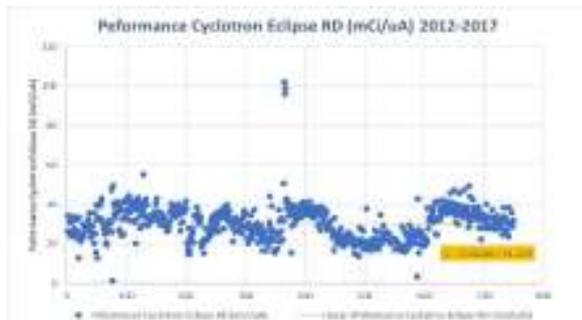
Dari spesifikasi siklotron Eclipse RD kapasitas maksimal hasil siklotron 2000 mCi, waktu iradiasi maksimal 120 menit dan arus maksimal 40 µA, didapat kualifikasi standar sebagai berikut:

$$\text{Performance standart} = 25 \text{ mCi/}\mu\text{A,}$$

Data batch produksi nuklida oleh siklotron Eclipse RD tahun 2012 - 2017 sebagai berikut: gambar 2, dan digunakan persamaan linier untuk mendapatkan gambaran tren produksi siklotron sebagai berikut:

$$y = -0.0028x + 31.229$$

Persamaan ini diambil dari data berkelanjutan sehingga terdapat grafik naik turun yang secara parsial dapat diterangkan sebagai kondisi siklotron Eclipse RD pasca pemeliharaan berkala.

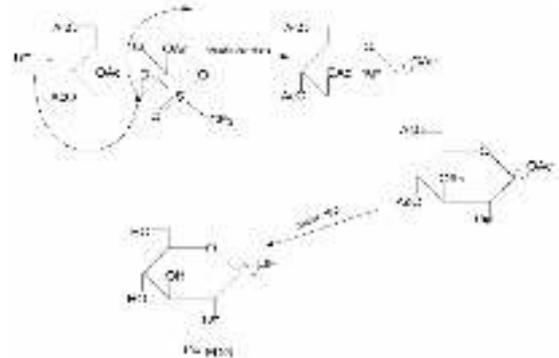


**Gambar 2:** performance Cyclotron Eclipse RD tahun 2012 – 2017

**Modul Sintesis Otomatis FDG**

Modul untuk memproduksi radiofarmaka FDG menggunakan Explora FDG4 produksi PT. Siemens dengan spesifikasi tehnik sebagai berikut : waktu sintesis: ≤ 45 menit, dapat 4 sintesia langsung tanpa

intervensi, waktu preparasi biasanya ≤ 20 menit, waktu pembersihan < 5 menit, hasil sintesis FDG 65% *yield decay correction* <sup>[4]</sup>. Reaksi kimia proses produksi FDG sesuai gambar 3 sebagai berikut:

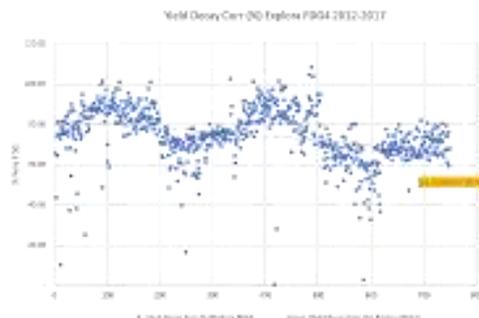


**Gambar 3:** reaksi kimia proses sintesis radiofarmaka FDG

Data batch produksi FDG oleh Explora FDG4 tahun 2012-2017 sebagai berikut: gambar 4, dan digunakan persamaan linier untuk mendapatkan gambaran tren hasil sintesa FDG sebagai berikut:

$$y = -0.0201x + 82.154$$

Sama halnya dengan kondisi siklotron, persamaan ini diambil dari data berkelanjutan sehingga terdapat grafik naik turun yang secara parsial dapat diterangkan sebagai kondisi modul sintesis Explora FDG4 pasca pemeliharaan berkala dan penggantian 1 reagen untuk 5 batch.



**Gambar 4:** hasil sintesis (%) *yield decay corr* Explora FDG4 tahun 2012 – 2017.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data Umum**

**Tabel 1.** Data Umum

No.	Uraian	Jumlah Batch
1.	Total batch produksi (n)	748
2.	Masalah pada produksi	22
3.	Tes siklotron	4
4.	Faktor external (alat PET-CT)	2
5.	Masalah siklotron dan Explora	16

Rincian masalah siklotron dan Explora sebagai berikut:

**a. Masalah pada Siklotron**

**Tabel 2.** Data masalah pada siklotron

No.	Uraian	Batch	Ket.
	<b>Masalah pada Siklotron</b>	10	
1.	Masalah teratasi dan pelayanan dilanjut	4	sistem ion
2.	Menyebabkan pembatalan pasien terdiri dari:	6	5 hari pelayanan
	- sistem ion	4	3 hari
	- sistem target	1	1 hari
	- catu daya	1	1 hari

#### b. Masalah pada Explora

Tabel 3. Data masalah pada Explora

No.	Uraian	Batch	Ket.
	<b>Masalah pada Explora</b>	6	
1.	Masalah teratasi dan pelayanan dilanjut, terdiri dari:	3	
	- karena sistem pemurnian	2	dipasang holder
	- karena pemasangan reagen	1	dapat diperbaiki
2.	Menyebabkan pembatalan pasien. terdiri dari:	3	2 hari pelayanan
	- karena sistem pemurnian	1	1 hari
	- karena sensor radioaktif pada tabung reaksi	1	1 hari

Dari keseluruhan data batch produksi diatas, telah terlayani 5109 pasien pemeriksaan PET-CT/MRI.

#### IV. KESIMPULAN

Pemeriksaan PET adalah modalitas diagnosis kedokteran nuklir yang dikombinasikan dengan CT atau MRI untuk mengoptimalkan hasil penilaian suatu penyakit terutama kanker. Pemeriksaan PET menggunakan Radiofarmaka FDG sebagai kontras agent. Produksi radiofarmaka FDG menggunakan radionuklida  $^{18}\text{F}$  sebagai hasil produksi siklotron. Keberlangsungan pemeriksaan PET ditentukan oleh performa siklotron dan alat sintesis otomatis radiofarmaka.

Dari data Batch produksi mulai 10 Februari 2012 sampai dengan 31 Mei 2017; rata-rata performa siklotron adalah  $30.20 \text{ mCi}/\mu\text{A} \geq 25 \text{ mCi}/\mu\text{A}$  dengan tren  $y = -0.0028x + 31.229$ , dan rata-rata hasil sintesis Explora FDG4 adalah  $74.62 \% \geq 65 \% \text{ yield decay corr.}$  dengan tren  $y = -0.0201x + 82.154$ . Nilai *slave* pada dua persamaan pada siklotron dan explora dibawah angka 0 menunjukkan adanya tren menurun pada kinerja alat. Jumlah keseluruhan Batch adalah 748 batch, masalah pada siklotron Eclipse RD 10 batch kejadian dan masalah terjadi pada sintesis otomatis FDG 6 batch kejadian atau bila di gabung presentase kejadian 2,14%

dan 7 batch diantaranya dapat diatasi dan pelayanan hanya ditunda jam pemeriksaannya.

Kehandalan alat untuk memastikan kontinuitas pelayanan PET dipengaruhi pesonil yang mempunyai keahlian khusus, fasilitas yang terpelihara, pengadaan bahan baku yang terqualifikasi, dan penerapan SOP sebagai sistem tata kerja yang harus dipatuhi.

Badan Pelaksana Jaminan Sosial Kesehatan (BPJS Kesehatan) telah memperluas jaminan pelayanan pada pemeriksaan PET, sehingga diprediksikan terjadi peningkatan layanan PET dan produksi radiofarmaka. Kapasitas produksi siklotron dan alat sintesa otomatis radiofarmaka dapat dioptimalkan untuk keperluan distribusikan ke Rumah Sakit lain yang membutuhkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada rekan-rekan tim Radiofarmasi, kepala Instalasi Radiodiagnostik, dan direktur Rumah Sakit Kanker Dharmais atas dukungan dan kesempatan yang diberikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1248. (2009). tentang Penyelenggaraan Pelayanan Siklotron Di Rumah Sakit, diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan RI 22 Desember 2009
- [2] Badan Pengawas Obat, Makanan dan Minuman RI (2015). Tentang Informasi Obat Nasional Indonesia, diambil pada tanggal 10 Juni 2017 dari: <http://pionas.pom.go.id/ioni/bab-18-radiofarmaka>
- [3] Cyclotron Produced Radionuclides: Guidance on Facility Design and Production of [ $^{18}\text{F}$ ]Fluorodeoxyglucose FDG (2012), IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceuticals series no. 3
- [4] Explora FDG-4 Technical Specifications. Diambil pada 10 Juni 2017 dari: <https://www.healthcare.siemens.com.br/molecular-imaging/cyclotron-chemistry-solution/explora-fdg4/technical-specifications>.



# MAKALAH PENYAJI ORAL IBN/IT/KP





## PLTN DAN PENDAPAT PUBLIK

**Eri Hiswara**

*Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN*

e-mail: e.hiswara@batan.go.id

### ABSTRAK

Energi nuklir dalam bentuk PLTN telah dimanfaatkan oleh banyak negara di dunia ini untuk menghasilkan listrik. Namun demikian, seperti yang terjadi pada produk teknologi yang lain, pendapat publik terbelah antara mereka yang mendukung dengan yang menolak kehadiran PLTN. Untuk melihat pendapat publik terhadap PLTN ini telah dilakukan berbagai jajak pendapat yang dilakukan secara sporadis maupun secara berkala. Jajak pendapat sporadis umumnya dilakukan di negara yang belum memiliki PLTN, sementara negara yang telah memilikinya biasa melakukan jajak pendapat ini secara berkala. Jajak pendapat mungkin saja tidak cukup akurat, namun sampai saat ini masih menjadi satu-satunya cara untuk memahami pandangan publik untuk suatu isu tertentu. Makalah ini membahas beberapa jajak pendapat publik yang dilakukan di beberapa negara terkait PLTN. Secara umum dapat dikatakan bahwa sampai kuartal pertama tahun 2011 dukungan terhadap PLTN di dunia sebenarnya cukup tinggi. Namun setelah terjadinya kecelakaan PLTN Fukushima di Jepang pada 11 Maret 2011, dukungan tersebut mulai menurun. Penurunan dukungan ini cukup signifikan di Jepang, namun tidak terlalu nyata di negara lain. Di AS, kendati penentangan terhadap PLTN meningkat, hasil jajak pendapat menyiratkan bahwa penyebab utama meningkatnya penentangan adalah karena menurun tajamnya harga migas, dan bukan karena kekhawatiran terhadap bahaya dari pengoperasian PLTN. Masih tingginya kepercayaan masyarakat atas keselamatan PLTN juga diperoleh dari jajak pendapat yang dilakukan di Inggris. Di Swiss masyarakat negara ini menolak rencana Partai Hijau untuk mempercepat penutupan PLTN untuk beralih ke energi terbarukan pada tahun 2050, sementara di Indonesia jajak pendapat yang dilakukan pada tahun 2015 menunjukkan bahwa 75,3% masyarakat menerima pembangunan PLTN sebagai salah satu alternatif penyedia kebutuhan listrik di Indonesia.

**Kata kunci:** PLTN, pendapat publik, jajak pendapat, PLTN Fukushima

### ABSTRACT

*Nuclear energy in the form of nuclear power plant (NPP) has been utilized in many countries in this world to produce electricity. However, as happen to other technology products, public opinion is divided between those support and those against the existence of nuclear power. Various sporadic or regular polls have been carried out to observe this opinion. Sporadic polls are usually conducted in countries without nuclear power, whereas in countries with nuclear power the polls are conducted regularly. Opinion polls may be imprecise, but they are the only readily available tool to understand the public's views on a certain issue. This paper discusses some latest public opinion polls on nuclear power plant conducted in several countries. It can be said in general that until the first quarter of 2011, support for nuclear power plant in the world is quite high. However, after the accident of the Fukushima Nuclear Power Plant in Japan in March 11, 2011, the support is slowly decreasing. This decrease is quite significant in Japan, but not in other countries. In the US, even though the opposition to NPP increases, the poll showed that the main reason for it is the sharp decline in oil and natural gas prices, and not because of fear from the NPP operation. The public trust to the safety of NPP is also still high in the UK. In Switzerland its population rejected the plan from the Green Party to speed up exit from nuclear energy to switch to renewable energy in 2050, while in Indonesia the poll in 2015 showed that 75.3% of population accepted NPP is one of alternatives for electricity generation in Indonesia.*

**Keywords:** NPP, public opinion, opinion poll, Fukushima NPP

## I. PENDAHULUAN

Energi nuklir merupakan komponen yang penting dalam pasokan listrik di banyak negara. Sampai 31 Desember 2015, sebanyak 441 pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) tengah beroperasi di dunia dengan kapasitas total 382,9 GW(e) [1]. Kapasitas ini bertambah 6,6 GW(e) dari tahun 2014 karena adanya sepuluh koneksi grid yang baru (dari delapan PLTN di Cina, dan masing-masing satu di Rusia dan Republik Korea). Selain itu, sampai akhir tahun 2015 tercatat sekitar 68 PLTN tengah dibangun, yang sebagian besar berada di Asia, dan 8 PLTN mulai dibangun (6 di Cina

dan masing-masing satu di Pakistan dan di Uni Arab Emirat).

Pada dekade tahun belakangan ini banyak negara yang menyatakan, atau kembali menyatakan, ketertarikannya pada PLTN. Beberapa isu seperti perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi, keamanan energi dan ketersediaan bahan bakar fosil dalam jangka panjang merupakan faktor-faktor yang menyebabkannya.

Sudah tentu, pada awalnya sumber energi baru dan terbarukan merupakan sumber energi yang lebih dahulu dilirik. Namun, sumber energi baru dan

terbarukan ini disadari hanya memberikan jawaban yang parsial terhadap kebutuhan yang ada. Banyak negara yang berpaling ke nuklir karena sumber energi ini nyaris tidak mengeluarkan gas rumah kaca, disamping ketersediaan uranium yang cukup besar di dunia untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar PLTN.

Namun demikian, kekhawatiran yang besar terhadap keamanan dan keselamatannya mengakibatkan PLTN menjadi tidak populer di mata publik, terlebih setelah terjadinya kecelakaan pada PLTN Fukushima di Jepang pada bulan Maret 2011 yang lalu. Karena itu, baik bagi pemerintah suatu negara yang akan pertama kali membangun, mengganti atau memperbesar kapasitas PLTN-nya, penerimaan publik merupakan suatu hal yang harus dihadapi.

Besarnya kekhawatiran terhadap isu terkait PLTN ini mengakibatkan banyaknya dilakukan jajak pendapat mengenai pandangan publik terhadap isu ini. Hasil jajak pendapat semacam ini juga dapat menjelaskan ada tidaknya dukungan nasional terhadap program PLTN suatu pemerintahan. Hal ini sesuai dengan pedoman IAEA untuk negara yang ingin membangun PLTN, bahwa 'pemerintah harus memberikan pernyataan yang jelas tentang keinginannya untuk membangun PLTN, dan mengkomunikasikan keinginannya itu kepada publik lokal, nasional, regional dan internasional' [2].

Jajak pendapat mungkin saja tidak cukup akurat, namun sampai saat ini masih menjadi satu-satunya cara untuk memahami pandangan publik mengenai suatu isu tertentu. Untuk menghindari adanya kepentingan tertentu dari hasilnya, jajak pendapat biasanya dilakukan oleh suatu organisasi yang independen.

Berbagai strategi yang dilakukan dan kesimpulan yang diperoleh dari jajak pendapat di sejumlah negara cukup menarik untuk dipelajari dan dipahami. Sudah tentu, pelaksanaan suatu jajak pendapat bergantung pada banyak variabel, termasuk situasi dan kondisi sosial dan budaya dari masyarakat setempat.

Dalam tulisan ini secara singkat akan diuraikan beberapa jajak pendapat terkait PLTN dalam beberapa tahun terakhir ini, sebelum maupun sesudah terjadinya kecelakaan pada PLTN Fukushima, Jepang. Diharapkan bahwa pengalaman berbagai negara dalam melaksanakan suatu jajak pendapat dapat menjadi pertimbangan dalam menyusun strategi yang lebih baik untuk melakukan jajak pendapat di Indonesia dengan responden yang cukup besar dan berasal dari berbagai lokasi di seluruh Indonesia.

## II. METODOLOGI

Pembahasan mengenai pendapat publik mengenai PLTN pada makalah ini dilakukan dengan metode deskriptif melalui studi literatur. Ruang lingkup pembahasan hanya jajak pendapat yang terkait langsung dengan pengoperasian PLTN, dan tidak membahas isu lain seperti penambangan uranium, pasokan bahan bakar atau prosedur penanggulangan kecelakaan PLTN.

## III. POKOK BAHASAN

### Studi Eurobarometer

Sejak tahun 1973 Komisi Eropa telah melakukan sejumlah studi jajak pendapat di negara-negara anggotanya. Jajak pendapat dilakukan untuk berbagai topik seperti perluasan keanggotaan, situasi sosial, kesehatan, teknologi informasi, dan juga energi. Jajak pendapat terakhir tentang teknologi energi dilakukan pada tahun 2006, dan meliputi isu energi secara umum dan kemudian secara khusus mengenai isu energi nuklir untuk memahami topik yang paling dikhawatirkan dan mengapa [3].

Jajak pendapat dilakukan di seluruh negara dan calon negara anggota Komisi Eropa, baik yang memiliki maupun yang tidak memiliki PLTN. Jumlah responden sebanyak lebih dari 24 ribu orang, dan dilakukan dengan cara wawancara tatap muka langsung.

Jajak pendapat menunjukkan bahwa dukungan untuk PLTN bervariasi antar negara dengan rata-rata 20%, dan dukungan tampak lebih kuat di negara yang memiliki PLTN. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh karena mereka yang tinggal di negara yang memiliki PLTN lebih mengenal dan memahaminya, mendapat informasi yang lebih baik dan lebih menyadari akan manfaat dari PLTN tersebut.

Hipotesis bahwa komunikasi yang baik akan meningkatkan dukungan juga dapat disimpulkan dari hasil jajak pendapat Eurobarometer yang lain tentang orang Eropa dan keselamatan nuklir pada tahun 2007 [4]. Dalam menjawab pertanyaan apakah mereka telah menerima informasi dengan baik tentang keselamatan nuklir, dan apa pengaruhnya, mereka yang merasa telah mengetahui masalah keselamatan nuklir mempersepsikan risiko lebih rendah dibanding mereka yang merasa kurang memahaminya. Sekali lagi, mereka yang mempersepsikan risiko lebih rendah adalah mereka yang merasa telah memahami isu keselamatan nuklir ini.

Pada survei Eurobarometer tentang orang Eropa dan Keselamatan Nuklir berikutnya pada tahun 2009, beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah [5]:

1. Penentangan terhadap pengembangan nuklir lebih lanjut sebagian besar terkait dengan persepsi risiko dari energi nuklir, dimana mayoritas masih menganggap energi nuklir sebagai ancaman dibanding sebagai sumber energi yang netral, baik dari perspektif umum maupun perorangan
2. Persepsi risiko terhadap energi nuklir relatif stabil sejak tahun 2006, dengan lemahnya upaya pengamanan untuk melindungi PLTN dari serangan teroris. Selain itu, pembuangan serta manajemen limbah radioaktif juga dipersepsikan menjadi bahaya terbesar dari energi nuklir.
3. Penduduk Eropa sangat peduli terhadap pentingnya upaya keselamatan dan proteksi dalam energi nuklir, dan merasa sangat sedikit mengetahui mengenai isu keselamatan nuklir yang terkait dengan PLTN.
4. Pengetahuan dan informasi merupakan hal yang krusial dalam menentukan perilaku. Penduduk Eropa menerima informasi mengenai isu nuklir paling banyak dari media massa, namun merasa

informasi tersebut tidak cukup. Karena itu, mereka ingin lebih banyak mengetahui manajemen limbah radioaktif dan prosedur pemantauan lingkungan.

### Studi di AS

Salah satu jajak pendapat terkait PLTN di AS dilakukan oleh Angus Reid secara *online* pada Februari 2010 [6]. Pada survei yang melibatkan 1010 orang AS, 48% responden mendukung PLTN lebih banyak lagi di AS, sementara 34% menolaknya. Dalam hal kekhawatiran yang terkait PLTN, 81% responden menyatakan kekhawatiran terhadap manajemen limbah nuklir, 74% khawatir teknologi nuklir jatuh ke tangan ekstremis, 73% khawatir dengan risiko kesehatan pada penduduk yang tinggal di sekitar PLTN, dan 72% khawatir akan terjadinya kecelakaan pada PLTN.

Jajak pendapat lain yang dilakukan Gallup pada bulan Maret 2009 melalui wawancara telepon terhadap 1012 penduduk dewasa AS menunjukkan dukungan yang tinggi terhadap PLTN di negara tersebut [7]. Sebanyak 59% responden menyatakan dukungannya, dengan 27% bahkan sangat mendukung. Selain itu, 56% yakin bahwa PLTN aman, sementara yang tidak menyetujuinya hanya 42%.

Pada kenyataannya, jajak pendapat yang dilakukan Gallup sejak tahun 1994 menunjukkan dukungan terhadap PLTN oleh masyarakat AS cukup stabil di atas 50%, kecuali tahun 2001 yang berkurang menjadi 46%. Pandangan yang sangat mendukung juga cukup stabil di sekitar angka 20%, sebelum meningkat menjadi 27% pada tahun 2009.

### Studi di Jepang

Pada bulan Oktober 2009, 1850 orang setuju untuk terlibat dalam survei terkait PLTN yang dilakukan oleh kantor kabinet Jepang [8]. Pada survei yang dilakukan secara wawancara langsung ini, 49,8% responden menyatakan setuju bahwa PLTN di Jepang harus dipromosikan lebih bijaksana, sementara 39,5% responden menyatakan kepuasannya atas rekam jejak operasi PLTN di Jepang.

Dalam hal kekhawatiran, 75,2% takut akan terjadi kecelakaan PLTN di Jepang, sementara gempa bumi menempati peringkat dua sebagai hal yang ditakutkan. Selain itu, sebagian besar responden (45,3%) tidak menghendaki dibangunnya fasilitas pembuangan limbah nuklir di kota atau di sekitar kota tempat tinggalnya.

### Studi di Australia

Menyusul ajakan PM Australia Howard untuk melakukan debat terkait pembangunan PLTN di negara ini, surat kabar *The Australian* melalui Newpoll melakukan survei pada Mei 2006 [9]. Tidak mengejutkan bahwa 51% dari 1200 responden menyatakan penolakannya, 35% mendukung dan 15% tidak menyatakan pendapatnya.

Survei juga menunjukkan bahwa 66% responden menolak pembangunan PLTN di daerah mereka, 25% mendukung dan 9% tidak berpihak. Kenyataan ini menyimpulkan bahwa isu tapak akan menjadi pusat perdebatan sekiranya PLTN akan dibangun di Australia.

### Studi IAEA

Studi pendapat publik global dan isu IAEA dilakukan oleh Globescan pada tahun 2005 [10]. Responden berjumlah sekitar 1000 orang dewasa yang berasal dari 18 negara. Studi dilakukan melalui telepon dan wawancara tatap muka langsung. Negara responden juga dibedakan atas negara pemilik PLTN dan negara bukan pemilik PLTN.

Jajak pendapat menyimpulkan antara lain bahwa sebanyak 28% responden menyatakan PLTN aman dan perlu dibangun PLTN baru, 34% menyatakan mendukung PLTN yang telah ada namun tidak perlu membangun yang baru, sementara hanya 25% yang menyatakan PLTN berbahaya dan harus ditutup.

Salah satu negara yang penduduknya dijadikan responden adalah Indonesia. Dengan jumlah responden 1000 orang, survei yang dilakukan di kota Jakarta dan Surabaya ini dilakukan secara tatap muka langsung pada bulan Agustus 2005. Menarik untuk dicatat pandangan responden Indonesia terhadap beberapa isu spesifik yang dilakukan pada studi IAEA ini.

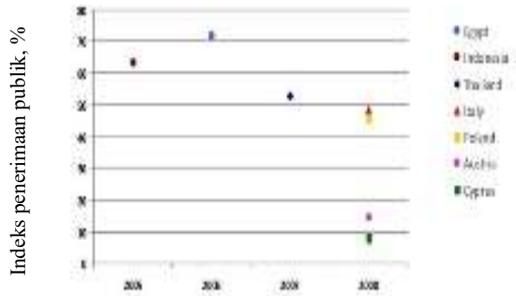
Terhadap isu dukungan terhadap PLTN, 33% menyatakan aman, 31% mendukung yang ada namun menolak pembangunan baru, dan 28% menyatakan PLTN berbahaya dan harus ditutup. Dibanding dengan persentase rata-rata yang dikutip sebelumnya, tampak bahwa persentase responden Indonesia yang menyatakan PLTN aman dengan yang menyatakan PLTN berbahaya sama-sama lebih besar dari persentase rata-rata, meski yang menyatakan PLTN aman sedikit lebih besar dari yang menyatakannya berbahaya.

Dalam kaitan dukungan terhadap PLTN sebagai jawaban terhadap perubahan iklim, sebanyak 52% responden Indonesia setuju penggunaan PLTN perlu diperluas, dengan hanya 40% yang menyatakan ketidaksetujuannya. Informasi terkait perubahan iklim ini diberikan setelah responden menjawab pertanyaan tentang dukungannya terhadap PLTN. Perubahan pandangan dari sebelum informasi diberikan dan setelah diberikan bagi responden Indonesia adalah +19%.

Perubahan pandangan hingga +19% merupakan yang terbesar dibanding negara lain. Beberapa negara yang perubahan pandangannya cukup besar adalah Hongaria dan Perancis (+17%), Korea Selatan dan Meksiko (+14%), dan Jerman (+16%).

Berdasar data survei Globescan ini IAEA menyusun suatu indeks penerimaan publik (*public acceptance index*), yaitu angka rata-rata hasil survei untuk suatu negara dan tahun, dinormalisasikan ke skala dari 0 (menolak penuh) dan 100 (menyetujui penuh) [11].

Seperti terlihat pada Gambar 1, dari tujuh negara yang tidak memiliki PLTN, lima negara memiliki nilai indeks penerimaan publik (IPP) berada di atas atau dekat dengan 50%, dengan IPP di Indonesia lebih dari 60%. Hal ini menunjukkan bahwa penerimaan publik perkotaan di Indonesia terhadap PLTN cukup positif.



Gambar 1. Penerimaan publik di sejumlah negara yang tidak memiliki PLTN [11].

**Jajak Pendapat Setelah Kecelakaan PLTN Fukushima**

Berbagai jajak pendapat yang hasilnya disampaikan di atas dilakukan sebelum tahun 2011. Pada tanggal 11 Maret 2011, gempa bumi berkekuatan lebih dari 9 skala Richter mengguncang pantai timur bagian utara Jepang. Gempa yang sangat besar ini memicu terjadinya tsunami yang menerjang pantai timur Jepang dan membawa dampak yang dahsyat pada daerah yang cukup luas. Gempa dan, terutama, tsunami, ini juga memberikan dampak kecelakaan yang hebat terhadap PLTN Fukushima Dai-ichi.

Seperti sudah dapat diduga, kecelakaan PLTN Fukushima juga memberikan dampak yang besar pada pandangan umum terhadap PLTN. Berbagai jajak pendapat yang dilakukan setelah kecelakaan PLTN Fukushima ini menunjukkan kecenderungan penurunan terhadap kepercayaan seseorang terhadap keselamatan dan keamanan PLTN.

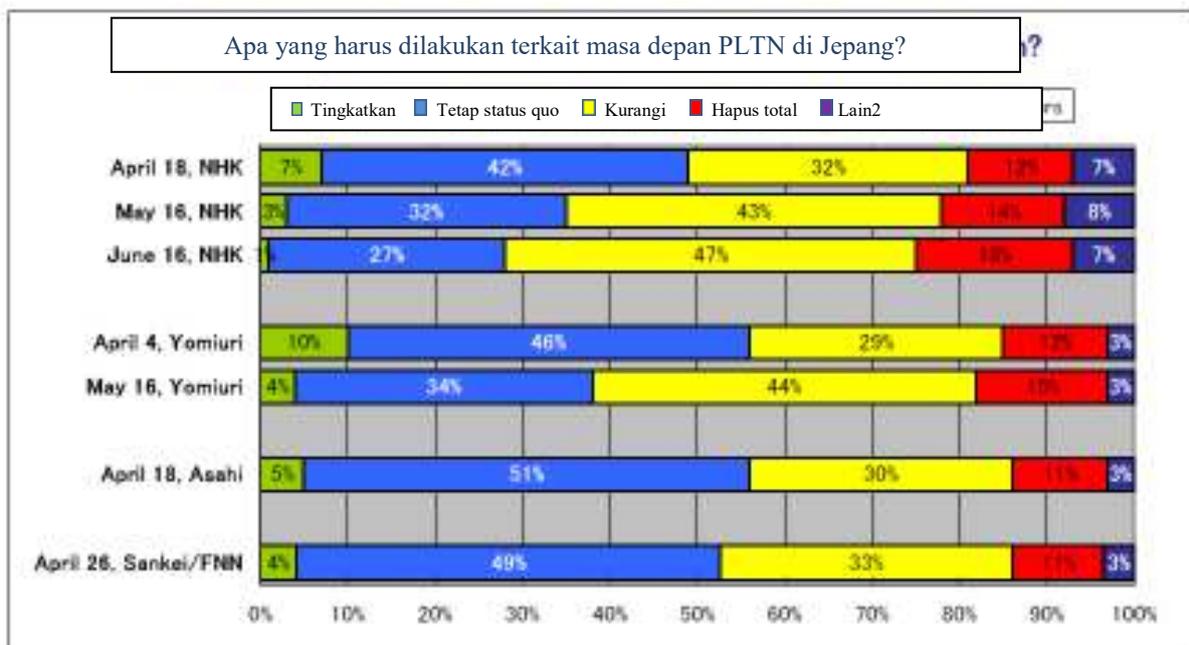
Di Jepang, berbagai jajak pendapat dilakukan secara berkala segera setelah kecelakaan terjadi. Gambar 2 memperlihatkan ringkasan jajak pendapat mengenai pandangan masyarakat mengenai masa depan PLTN di Jepang yang dilakukan oleh empat media terbesar di Jepang dalam satu dua bulan setelah

kecelakaan terjadi [12]. Dari ringkasan tersebut terlihat bahwa mereka yang menginginkan diturunkannya peranan dan penutupan total PLTN jauh lebih tinggi dari mereka yang menginginkan peningkatan peran PLTN.

Empat tahun setelah kecelakaan PLTN Fukushima berlalu, masyarakat Jepang makin besar keinginannya untuk beralih dari PLTN. Jajak pendapat yang dilakukan NHK menunjukkan bahwa 70% masyarakat Jepang ingin agar PLTN ditutup total atau kebergantungan pada PLTN diturunkan secara signifikan, sementara Yomiuri Shimbun melaporkan bahwa 57% masyarakat Jepang berpendapat dalam jangka pendek dan menengah PLTN yang ada masih dapat beroperasi dan tidak perlu membangun PLTN baru [13]. Namun untuk jangka panjang, 71% memilih energi matahari dan hanya 6% yang tetap memilih nuklir.

Di AS, jajak pendapat yang dilakukan Gallup pada Maret 2016 untuk pertama kalinya menunjukkan bahwa 54% masyarakat AS menentang PLTN, sementara yang mendukung ternyata menurun menjadi 44% [14]. Pada tahun sebelumnya (2015), jajak pendapat Gallup menunjukkan mereka yang menentang masih 43% sementara yang mendukung berada pada angka 51%.

Namun demikian, hasil yang berbeda dijumpai pada survei yang dilakukan oleh Bisconti Research dan Quest Global Research Group untuk NEI pada bulan September-Oktober 2016 [15]. Dalam survei ini 65% masyarakat AS mendukung PLTN, dan hanya 32% yang menentangnya. Survei juga mendapatkan bahwa 84% berpendapat bahwa nuklir akan menjadi penting di masa depan, 82% setuju bahwa semua sumber energi dengan karbon rendah, termasuk nuklir, air dan terbarukan, harus lebih dimanfaatkan, dan 95% setuju untuk mempertahankan keragaman sumber energi.



Gambar 2. Pandangan masyarakat Jepang mengenai masa depan PLTN di Jepang [12].

Jajak pendapat yang dilakukan oleh Universitas Texas (UT) pada musim semi 2016 juga memperlihatkan bahwa 39% masyarakat AS masih mendukung PLTN dibanding 26% yang menentangnya [16]. Berbeda dengan jajak pendapat Gallup yang dilakukan melalui wawancara telepon dengan sampel 1019 orang dewasa dengan tingkat kesalahan  $\pm 4\%$ , jajak pendapat UT dilakukan secara *online* dengan sampel 2043 orang dewasa dengan tingkat kesalahan  $\pm 3,1\%$ .

Kepercayaan masyarakat Inggris terhadap PLTN juga tidak terpengaruh dengan adanya kecelakaan di Fukushima. Menurut jajak pendapat yang dilakukan Populus atas nama British Science Association, 41% responden setuju bahwa manfaat PLTN melebihi risikonya [17]. Angka ini bahkan meningkat dari 38% pada tahun 2010 dan 32% pada tahun 2005. Sementara itu, sebanyak 28% responden menyatakan risiko PLTN lebih besar dari manfaatnya, berkurang dari 36% pada tahun 2010.

Di Swiss, jajak pendapat dalam bentuk referendum yang disponsori oleh Partai Hijau dilakukan pada November 2016 untuk memaksa pemerintah mempercepat dihentikannya penggunaan PLTN di negara tersebut [18]. Jika berhasil, operasi PLTN Beznau 1, Beznau 2 dan Muehleberg harus dihentikan tahun depan. Namun hasilnya ternyata 55% menolak dan 45% menerima. Di negara ini, sepertiga kebutuhan listriknya dibangkitkan oleh PLTN.

Di Indonesia, Badan Tenaga Nuklir Nasional melalui Sigma Research melakukan jajak pendapat penerimaan masyarakat terhadap PLTN pada tahun 2015 [19], dan kemudian melalui Pro Ultima pada tahun 2016 [20]. Dengan responden sebanyak 4000 orang secara nasional, jajak pendapat tahun 2015 menghasilkan kesimpulan bahwa sebanyak 75,3% masyarakat Indonesia menerima pembangunan PLTN sebagai salah satu alternatif penyedia kebutuhan listrik di Indonesia. Selain itu diperoleh pula bahwa sebanyak 45,3% masyarakat menyatakan dampak positif teknologi nuklir sama besarnya dengan dampak negatif, 32,1% menyatakan dampak positif lebih besar dari dampak negatif, dan 22,2% menyatakan dampak negatif lebih besar dari dampak positifnya.

Hasil jajak pendapat tahun 2016 menunjukkan hasil yang lebih positif, dengan 77,5% masyarakat Indonesia setuju adanya PLTN. Jajak pendapat dengan membagikan kuesioner kepada 4000 responden di 34 provinsi di Indonesia ini dilakukan tanpa adanya sosialisasi mengenai PLTN terlebih dahulu. Tiga alasan tertinggi mengapa masyarakat setuju adanya PLTN adalah tidak adanya pemadaman listrik, listrik akan menjadi murah, dan dapat menciptakan lapangan kerja.

#### IV. PEMBAHASAN

Energi nuklir dalam bentuk PLTN merupakan isu kontroversial dan topik yang sulit dalam jajak pendapat. Dalam suatu jajak pendapat responden biasanya cenderung untuk memilih pandangan yang umum, namun isu PLTN dapat memancing pandangan yang tidak serta merta menunjukkan tingkat

pengetahuan atau pemahamannya terhadap hal mutakhir dari PLTN tersebut.

Jajak pendapat mungkin saja tidak cukup akurat, namun sampai saat ini masih menjadi satu-satunya cara untuk memahami pandangan publik. Karena itu, jajak pendapat banyak dilakukan baik yang bersifat sporadis maupun berkala.

Jajak pendapat terkait PLTN yang dilakukan secara sporadis biasanya dilakukan di negara yang belum memiliki sumber pembangkit listrik ini, sementara jajak pendapat berkala umum dijumpai di negara yang telah memilikinya. Komisi Eropa merupakan organisasi yang secara berkala melakukan jajak pendapat ini di kalangan negara anggotanya yang telah memiliki PLTN.

Dari berbagai jajak pendapat yang dilakukan di beberapa negara sebelum terjadinya kecelakaan PLTN di Fukushima Jepang dapat diketahui bahwa secara umum dukungan terhadap pembangunan PLTN cukup besar. Dukungan bahkan akan lebih besar jika responden diinformasikan bahwa penggunaan PLTN bisa berperan dalam menanggulangi masalah perubahan iklim yang telah menjadi isu besar belakangan ini. Yang mengejutkan, peningkatan dukungan tidak hanya diberikan oleh responden dari negara yang telah memiliki PLTN, responden dari negara yang belum memiliki PLTN seperti Indonesia ternyata juga menunjukkan dukungannya.

Dari kenyataan ini bisa diartikan bahwa informasi yang tepat dan akurat perlu diberikan secara terus menerus kepada publik awam. Publik perlu mendapat informasi yang berimbang terkait PLTN, karena sejauh ini informasi yang mereka peroleh lebih banyak berupa informasi negatifnya saja.

Sayangnya, informasi yang tepat dan akurat ini seringkali tidak mendapat tempat di media, sementara media merupakan sumber informasi publik yang utama [4]. Media sebagai sumber informasi utama iptek nuklir juga dijumpai pada jajak pendapat yang dilakukan terhadap para guru di kota Semarang, Yogyakarta dan Surabaya [21].

Jajak pendapat yang dilakukan Globescan untuk IAEA yang dilakukan di Indonesia cukup menarik perhatian. Secara khusus, jajak pendapat memperlihatkan bahwa publik perkotaan Indonesia yang relatif memiliki pendidikan yang baik cenderung menyatakan bahwa PLTN cukup aman. Indeks penerimaan publik Indonesia terhadap PLTN yang dihitung IAEA juga menunjukkan bahwa 60% publik perkotaan Indonesia dapat menerima kehadiran PLTN ini.

Setelah PLTN Fukushima mengalami kecelakaan pada bulan Maret 2011, berbagai jajak pendapat yang dilakukan menunjukkan bahwa masyarakat umum mulai mempertanyakan tingkat keamanan PLTN. Dukungan terhadap PLTN menurun di banyak jajak pendapat, sementara mereka yang menginginkan diakhirinya penggunaan PLTN meningkat cukup besar.

Dalam bidang komunikasi risiko, pandangan konvensional yang ada adalah fakta nyata tidak bisa menghilangkan ketakutan terhadap sesuatu yang tidak diketahui atau yang tidak dikenal dengan baik.

Manusia umumnya cenderung khawatir terhadap risiko yang mereka sama sekali tidak tahu. Manusia juga mencemaskan semua hal yang mereka anggap salah.

PLTN merupakan contoh dari sifat dasar manusia tersebut. Kemungkinan besar banyak penentang PLTN yang tidak mengetahui dan mengenal dengan baik apa itu PLTN. Sebaliknya, mereka yang cukup mengenalnya, memiliki pandangan yang berbeda dengan tetap mendukung PLTN.

Hal yang terakhir ini dapat dilihat dari hasil jajak pendapat Bisconti Research yang menunjukkan bahwa mereka yang tinggal di sekitar PLTN tetap yakin akan keselamatan PLTN [22]. Mereka juga yakin bahwa pengelola PLTN telah melakukan persiapan yang cukup untuk menghadapi kejadian alam yang dapat terjadi di daerah mereka. Kepercayaan ini dapat dikatakan tidak lepas dari kinerja PLTN yang sangat baik, dan juga sosialisasi serta jalinan hubungan sosial yang baik antara pengelola PLTN dengan masyarakat di sekitarnya.

Hasil jajak pendapat Bisconti Research ini merupakan kabar baik bagi para pendukung PLTN. Ditambah dengan keuntungan PLTN sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dibanding bahan fosil, industri nuklir sebenarnya memiliki kesempatan yang besar untuk menceritakan betapa aman dan selamatnya PLTN ini. Namun demikian, dengan kegigihan para aktivis anti PLTN yang memanfaatkan kecelakaan Fukushima untuk terus menerus menekan dan mencoba melenyapkan PLTN dari muka bumi, jendela kesempatan tersebut akan cepat tertutup jika tidak dengan segera dan dengan cerdas dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya.

Untuk kasus dua hasil yang berbeda dalam jajak pendapat di AS, hal menarik yang dapat dipetik adalah kenyataan bahwa mayoritas pendapat responden berada di tengah-tengah, yaitu yang sedikit mendukung dan sedikit menentang. Dengan kata lain, sebagian besar masyarakat AS tidak memiliki pandangan yang kuat terhadap isu PLTN ini, dalam arti tidak sangat mendukung dan juga tidak sangat menentang.

Hal mendasar lain yang menjadi alasan mengapa masyarakat AS sekarang agak menentang PLTN adalah karena rendahnya harga minyak bumi dalam beberapa tahun terakhir ini [14]. PLTN sebagai sumber energi dipandang tidak lagi diperlukan. Meningkatnya penentangan terhadap PLTN juga diyakini bukan karena ketakutan atas bahaya radiasi yang dapat ditimbulkannya, karena tidak adanya kecelakaan pada PLTN di dunia setelah peristiwa Fukushima tahun 2011.

Dalam kasus Inggris, pandangan yang tetap mendukung PLTN sedikit banyak dibantu oleh kenyataan bahwa meskipun krisis yang terjadi di Jepang cukup besar, tidak ada seorang korban pun yang meninggal akibat kecelakaan PLTN ini. Persepsi masyarakat Inggris ini adalah bahwa kecelakaan Fukushima bukan karena rancangan PLTN yang salah, namun karena lokasinya yang salah. "Mengapa mereka membanggunya di pantai timur, yang secara seismik diketahui merupakan daerah yang tidak stabil?", demikian argumen sebagian besar masyarakat umum Inggris.

Menarik pula hasil jajak pendapat di Swiss yang menolak usulan percepatan penutupan PLTN, meski telah ada pendekatan bertahap oleh pemerintahnya untuk beralih ke energi terbarukan pada tahun 2050. Hasil ini sedikit banyak menunjukkan bahwa masyarakat Swiss memahami bahwa diperlukan waktu yang cukup untuk peralihan tersebut, karena kalau tidak mungkin akan terjadi kelangkaan listrik dalam jangka waktu tertentu.

Berkaitan dengan hasil jajak pendapat oleh Globescan, sayang sekali belum ada jajak pendapat serupa yang dilakukan kembali setelah terjadinya kecelakaan PLTN Fukushima. Akan sangat menarik untuk membandingkan hasilnya dengan hasil terdahulu, sehingga dapat dilihat apakah indeks penerimaan publik di Indonesia masih tetap atau berubah.

## V. KESIMPULAN

PLTN merupakan sumber energi yang kembali dilirik dalam beberapa dekade terakhir ini untuk mengatasi kendala mulai menipisnya sumber energi utama untuk pembangkitan listrik, dan juga dengan adanya kenyataan bahwa PLTN dapat berperan besar dalam menanggulangi masalah perubahan iklim yang telah menjadi isu besar belakangan ini.

Namun demikian, pemanfaatan PLTN juga dapat menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan. Besarnya kekhawatiran terhadap isu negatif terkait PLTN ini mengakibatkan banyaknya dilakukan jajak pendapat mengenai pandangan publik terhadap isu ini.

Dari berbagai jajak pendapat yang ada secara umum hingga tahun 2010 dapat dikatakan bahwa dukungan terhadap PLTN cukup besar, dan pandangan publik bisa berubah dari tanpa pendapat atau bahkan menolak ke arah mendukung jika mereka diberi informasi yang tepat dan akurat tentang PLTN ini. Namun demikian, kecelakaan yang terjadi pada PLTN Fukushima di Jepang mengakibatkan dukungan kembali berkurang, meski secara global perlu dikaji lebih lanjut mengenai penyebab utama dari penurunan dukungan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA General Conference, Nuclear Technology Review 2016: Report by the Director General, GC(60)/INF/2.
- [2] IAEA (2007), Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1, IAEA, Vienna.
- [3] EUROPEAN COMMISSION (2007), Special Eurobarometer, *Energy Technologies: Knowledge, Perception, Measures*, [http://www.ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_262\\_en.pdf](http://www.ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_262_en.pdf)
- [4] EUROPEAN COMMISSION (2007), Special Eurobarometer, *Europeans and Nuclear Safety Report*, [http://www.ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_271\\_en.pdf](http://www.ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_271_en.pdf)

- [5] EUROPEAN COMMISSION (2010), Special Eurobarometer 324. *Europeans and Nuclear Safety Report*.
- [6] Many Americans, But Not Majority, Endorse Nuclear Power, AngusReid Public Opinion, [http://www.visioncritical.com/wp-content/uploads/2010/03/2010.03.02\\_Nuclear\\_USA.pdf](http://www.visioncritical.com/wp-content/uploads/2010/03/2010.03.02_Nuclear_USA.pdf)
- [7] Support for nuclear energy inches up to new high, <http://www.gallup.com/poll/117025/support-nuclear-energy-inches-new-high.aspx>
- [8] Nuclear power generation worries in Japan, <http://whatjapanthinks.com/2009/12/01/nuclear-power-generation-worries-in-japan/>
- [9] MACINTOSH, A. (January 2007), Who wants a Nuclear Power Plant? Support for nuclear power in Australia, *Research Paper No.39*, The Australia Institute, <http://www.tai.org.au/documents/downloads/WP95.pdf>
- [10] GLOBESCAN (2005). Global Public Opinion on Nuclear Issues and the IAEA: Final Report from 18 Countries, Globescan Inc.
- [11] IAEA (2009). Nuclear Technology Review 2009. IAEA, Vienna.
- [12] [http://www.jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS02\\_1312778417P.pdf](http://www.jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS02_1312778417P.pdf)
- [13] M. Penney Nuclear Power and Shifts in Japanese Public Opinion. The Asia-Pacific Journal. <http://apjif.org/-Matthew-Penney/4707/article.pdf>
- [14] For first time, majority in U.S. oppose nuclear energy. <http://www.gallup.com/poll/190064/first-time-majority-oppose-nuclear-energy.aspx>
- [15] Americans voice strong support for nuclear energy. <http://www.nei.org/knowledge-center/public-opinion>.
- [16] Do the majority of americans oppose nuclear energy? – Maybe not. <http://blogs.scientificamerican.com/plugged-in/do-the-majority-of-americans-oppose-nuclear-energy-maybe-not/>
- [17] UK public confidence in nuclear remains steady despite Fukushima, <http://www.guardian.co.uk/science/2011/sep/09/nuclear-power-popular-in-uk>
- [18] Swiss reject plan to speed up exit from nuclear energy, <http://fortune.com/2016/11/27/swiss-vote-nuclear-power/>
- [19] 75% masyarakat Indonesia siap menerima PLTN, <http://www.batan.go.id/index.php/id/ke deputian/manajemen/hhk/1971-75-masyarakat-indonesia-telah-siap-menerima-pltn>.
- [20] 75% Masyarakat Indonesia Setuju Adanya PLTN. <http://www.batan.go.id/index.php/id/ke deputian/pendayagunaan-teknologi-nuklir/dise minasi-dan-kemitraan/2917-77-5-masyarakat-indonesia-setuju-adanya-pltn>
- [21] MUDJIONO, SUTJIPTO, MERSYANA T.A.T., dan RISTIANA D.H. (Desember 2009), Status Pemahaman Iptek Nuklir di Kalangan Guru, *Jurnal Informasi Nuklir Indonesia*, Vol.1 No.1, pp. 38-41.
- [22] A. S. Biconti, 2016. Public opinion on nuclear energy: what influences it. Bulletin of the Atomic Scientists. Analysis 27 April 2016. <http://thebulletin.org/public-opinion-nuclear-energy-what-influences-it9379>



## STRATEGI PENGUATAN LANDASAN HUKUM PERSYARATAN KEAMANAN DUNIA MAYA (*CYBER SECURITY*) DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR UNTUK MENDUKUNG KEAMANAN NUKLIR NASIONAL

**Nanang Triagung Edi Hermawan**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN*

e-mail: n.triagung@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Proses instrumentasi dan kendali industri dewasa ini telah bergeser dari sistem manual menjadi sistem yang serba digital. Di samping proses kendali yang bersifat mandiri (*standalone*), kebanyakan sistem pada saat ini sudah terhubung satu dengan yang lain melalui jaringan komunikasi data, bahkan jaringan internet yang mendunia. Hal yang sama juga terjadi dalam industri nuklir berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir pada instalasi nuklir maupun fasilitas radiasi. Penerapan sistem digital rentan terhadap ancaman keamanan dunia maya terkait dengan kerahasiaan (*confidentiality*), integritas (*integrity*), dan ketersediaan (*availability*). Di sisi lain, hingga saat ini kita belum memiliki landasan hukum yang memadai untuk memberlakukan persyaratan keamanan dunia maya guna mendukung dan melengkapi persyaratan proteksi fisik atau keamanan sumber radioaktif. Telah dilakukan studi pustaka dalam rangka perumusan strategi penguatan landasan hukum persyaratan keamanan dunia maya dalam pemanfaatan tenaga nuklir untuk mendukung keamanan nuklir nasional. Kebijakan nasional mengenai penerapan keamanan dunia maya dalam pemanfaatan tenaga nuklir harus diatur secara khusus di dalam lingkup peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran. Persyaratan keamanan dunia maya harus dipayungi dalam Undang-undang Ketenaganukliran, dijabarkan dalam Peraturan Pemerintah, dan diatur lebih detail dengan Peraturan Kepala BAPETEN. Pengaturan tersebut harus tetap mengedepankan harmonisasi dengan pengaturan umum dalam lingkup peraturan perundang-undangan terkait, antara lain mengenai informasi dan transaksi elektronik, hak cipta, tindak pidana pencucian uang, dan pencegahan tindak pidana terorisme.

**Kata kunci:** sistem digital, *cybersecurity*, peraturan perundang-undangan, keamanan nuklir.

### ABSTRACT

*The process of instrumentation and industrial control today has shifted from a manual system to an all-digital system. In addition to the standalone control process, most systems are now connected to each other system through data communications networks, even the worldwide internet network. The same conditions also are implemented in nuclear industry, relating to utilization of nuclear energy on nuclear installations and radiation facilities. The application of digital systems poses potential vulnerabilities to cybersecurity threats related to confidentiality, integrity and availability. On the other hand, until this time Indonesia hasn't an adequate legal basis for enforcing cybersecurity requirements to support and complement the physical protection of nuclear installations and nuclear material or security requirements of radioactive sources. A literature study on the framework for formulating a strategy of strengthening the legal basis of cybersecurity requirements in the utilization of nuclear power to support national nuclear security has been conducted. National policies concerning the application of cybersecurity in the utilization of nuclear energy shall be specifically regulated within the scope of nuclear legislation. The requirements of cybersecurity must be covered under Nuclear Act, elaborated in a Government Regulation, and regulated in more detail with BAPETEN's Chairman Regulations. Such arrangements should continue to promote harmonization with general arrangements within the scope of relevant legislation, including information and electronic transactions, copyrights, money laundering and crime prevention of terrorism.*

**Keywords:** digital system, *cybersecurity*, regulations, nuclear security.

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang berlangsung pesat telah mendorong penerapan sistem digital dalam sistem kendali industri (*Industrial Control System, ICS*) secara lebih luas. Berbagai peralatan pengukuran dan kendali yang semula menggunakan teknologi manual telah digantikan dengan sistem digital. Hal ini juga merambah sistem pengukuran dan kendali dalam

kegiatan penggunaan tenaga nuklir, baik pada instalasi nuklir maupun fasilitas radiasi.

ICS memiliki kesamaan pengertian dengan *Operating Technology (OT), Instrumentation and Control (I&C), Supervisory Control and Data Acquisition Data (SCADA), Distributed Control System (DCS), Programmable Logic Controller (PLC), Programmable Automatic Controller (PAC), ataupun Human Machine Interface (HMI)* [1].

Di samping penerapan sistem yang otonom (*standalone*), tidak sedikit dari sistem pengukuran dan kendali pada instalasi nuklir atau fasilitas radiasi yang terhubung melalui sistem komunikasi data dengan sistem yang lain. Sistem komunikasi data yang dimaksudkan dapat berupa *GSM, GPRS, LAN, WAN, VSAT*, hingga internet. Baik pada sistem digital yang mandiri maupun terhubung dengan sistem yang lain, sama-sama memiliki kerentanan ancaman dunia maya (*cyber vulnerability*).

Adanya ancaman atau serangan dunia maya pada sistem digital dapat mengakibatkan hilangnya data, terbobolnya kerahasiaan informasi, sabotase operasionalisasi sistem operasi dan kendali yang dapat memicu terjadinya kondisi kecelakaan yang sangat membahayakan. Hal ini menjadi kerentanan tersendiri apabila kesempatan tersebut digunakan oleh kelompok teroris untuk melakukan aksinya. Dengan demikian, isu keamanan dunia maya (*cybersecurity issues*) menjadi sangat penting dalam rangka mewujudkan keselamatan dan keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir.

Isu keamanan dunia maya mulai mendapat perhatian yang serius dalam penggunaan sistem digital untuk kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. *International Atomic Energy Agency (IAEA)* bahkan telah menerbitkan beberapa publikasi dan standar yang berkaitan dengan isu keamanan dunia maya [2, 3]. Namun demikian, sistem peraturan perundang-undangan di negara kita belum mengatur secara khusus (*leg specialist*) adanya kebutuhan landasan hukum terkait hal tersebut di bidang ketenaganukliran.

Kajian dalam rangka pengembangan strategi penguatan landasan hukum persyaratan keamanan dunia maya dalam pemanfaatan tenaga nuklir untuk mendukung terwujudnya keamanan nuklir nasional ini bertujuan untuk:

- meningkatkan kesadaran para pemangku kepentingan mengenai pentingnya penerapan keamanan dunia maya;
- memetakan perangkat peraturan perundang-undangan yang telah dimiliki oleh Indonesia;
- menyusun strategi penguatan landasan hukum persyaratan dunia maya dalam sistem peraturan perundang-undangan ketenaganukliran.

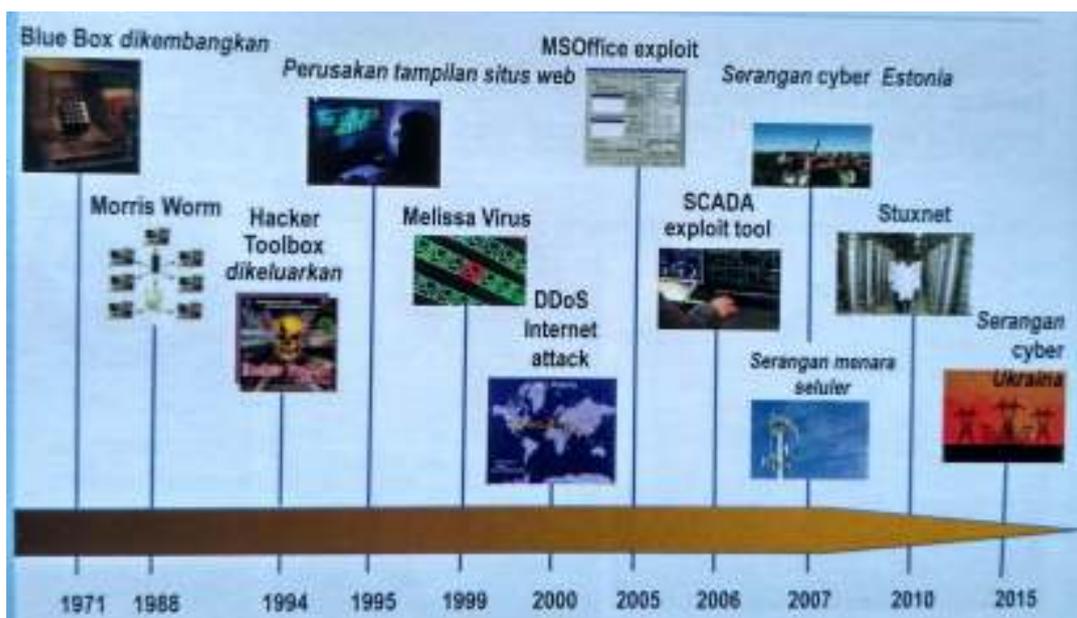
## II. METODE KAJIAN

Kajian dalam rangka pengembangan strategi landasan hukum persyaratan keamanan dunia maya dalam pemanfaatan tenaga nuklir ini dilakukan melalui studi pustaka dengan tahapan kegiatan meliputi pengumpulan dan penelaahan literatur, analisis, diskusi dan penyusunan laporan.

## III. POKOK BAHASAN

Penggunaan sistem digital yang tidak dibarengi dengan penerapan sistem keamanan dunia maya yang memadai telah menimbulkan beberapa serangan yang mengakibatkan kerugian teknis, sosial maupun finansial.

Gambar 1 memperlihatkan riwayat beberapa serangan dunia maya yang pernah terjadi di seluruh dunia untuk berbagai bidang industri. Pada tahun 2003, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Davis Besse di Ohio, Amerika Serikat telah diserang *malware slamer worm*. Serangan *worm* yang pertama kali muncul pada sistem digital di bagian kontraktor merambat ke jaringan perusahaan melalui koneksi *VPN* yang teretas. *Worm* tersebut kemudian menyebar luas hingga mencapai *unpatchedserver* pada jaringan pembangkitan daya. Serangan tersebut berdampak menghentikannya sistem digital secara menyeluruh yang berdampak dihentikannya kegiatan operasi reaktor nuklir secara keseluruhan [1].



Gambar 1. Riwayat serangan dunia maya yang pernah terjadi [1]

Pada tahun 2014, PLTN Monju di Jepang juga mendapat serangan dunia maya berupa *malware*. Serangan berhasil meretas komputer kendali sistem dan

komputer pangkalan data. Indikasi peretasan disadari pada saat seorang administrator jaringan mendeteksi adanya akses ilegal ke sistem di dalam ruang kendali

reaktor lebih dari 30 kali dalam sehari setelah seorang karyawan meng-*update* aplikasi sistem. Serangan tersebut berdampak terganggunya sistem kendali dan adanya kebocoran informasi yang penting [1].

Beberapa contoh lain kejadian serangan dunia maya pada dunia industri besar yang masih relatif baru diantaranya kasus *Korea Hydro and Nuclear Power* (KHNP), pabrik peleburan besi baja di Jerman, hingga saluran transmisi listrik di negara Ukraina.

Peristiwa serangan dunia maya yang paling menghentak dan menjadi perhatian besar masyarakat dunia yang baru-baru ini terjadi adalah beredarnya *ransomwarewannacry* pada pertengahan bulan Mei tahun ini. Tak tanggung-tanggung, serangan *malware*

yang meng-enkripsi data melalui sistem operasi komputer tersebut berhasil meretas dan melumpuhkan sistem layanan di dua rumah sakit besar di ibukota Jakarta.

*Malware* atau perangkat lunak jahat dibedakan ke dalam kategori *infectious malware*, *concealment malware*, dan *malware for profit* [1]. *Virus* dan *worm* termasuk jenis *infectious malware*. *Trojan horse* merupakan jenis *concealment malware*. Adapun *ransomware* merupakan contoh *malware for profit*. Beberapa contoh indikasi yang ditimbulkan akibat sistem yang diserang *malware* dapat dilihat dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Indikasi pada sistem yang terserang *malware* [1]**

Serangan <i>malware</i>	Kemungkinan indikasi yang terjadi
Virus menyebar melalui surat elektronik dan menginfeksi <i>host</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peringatan perangkat lunak antivirus menunjukkan file yang terinfeksi</li> <li>• peningkatan jumlah surat elektronik yang dikirim dan diterima secara tiba-tiba</li> <li>• perubahan template untuk dokumen pemrosesan kata, <i>spreadsheet</i>, dll</li> <li>• file terhapus, korup, atau tidak dapat diakses</li> <li>• obyek yang tidak biasa pada layar, seperti pesan dan gambar yang aneh</li> <li>• program yang dimulai secara lambat, berjalan lambat, atau tidak berjalan sama sekali</li> <li>• ketidakstabilan dan <i>crash</i> sistem</li> </ul>
<i>Worm</i> menyebar melalui layanan yang rentan dan menginfeksi <i>host</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peringatan perangkat lunak antivirus menunjukkan file yang terinfeksi</li> <li>• upaya pemindahan port dan koneksi yang gagal pada target layanan yang rentan (misal <i>windows shares</i>, HTTP)</li> <li>• peningkatan penggunaan jaringan</li> <li>• program yang dimulai secara lambat, berjalan lambat, atau tidak berjalan sama sekali</li> <li>• ketidakstabilan dan <i>crash</i> sistem</li> </ul>
<i>Trojan horse</i> dipasang dan berjalan pada <i>host</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• peringatan perangkat lunak antivirus menunjukkan versi <i>Trojan horse</i> dari file</li> <li>• peringatan deteksi penyusupan jaringan dari komunikasi <i>client-server Trojan horse</i></li> <li>• lama catatan <i>firewall</i> dan <i>router</i> untuk komunikasi <i>client-server Trojan horse</i></li> <li>• pembukaan <i>port</i> yang tidak biasa dan tidak diperkirakan</li> <li>• berjalannya proses yang tidak diketahui</li> <li>• jumlah lalu lintas jaringan yang tinggi yang dihasilkan oleh <i>host</i>, terutama apabila diarahkan ke <i>external host</i></li> <li>• program yang dimulai secara lambat, berjalan lambat, atau tidak berjalan sama sekali</li> <li>• ketidakstabilan dan <i>crash</i> sistem</li> </ul>

Ancaman atau serangan dunia maya (*cyberattack*) tidak hanya dilakukan dengan cara peretasan dan penyebaran *malware* melalui jaringan internet sebagaimana contoh beberapa kasus di atas. Serangan dunia maya bisa saja dilakukan melalui sarana penyimpanan data, seperti disket, *Compact Disk (CD)*, *flashdisk*, bahkan melalui distribusi perangkat keras ataupun lunak palsu yang diharapkan mengkorup kinerja sistem kendali operasi yang ditarget.

Ancaman dunia maya di era internet dengan peralatan yang serba digital saat ini adalah sebuah kenyataan. Kesadaran bahwa ancaman tersebut benar-benar ada dan berpotensi menyerang sistem digital manapun harus ditingkatkan, termasuk tentu saja dalam penggunaan berbagai peralatan digital pada instalasi nuklir ataupun fasilitas radiasi.

IAEA sebagai organisasi Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) yang mengawasi penggunaan tenaga atom telah menerbitkan beberapa seri dokumen berkaitan dengan keamanan dunia maya dalam penggunaan tenaga atom, diantaranya *Nuclear Security Series on Computer Security on Nuclear Facilities* [2] dan *Nuclear Security Series on Security of Nuclear Information – Implementation Guide* [3].

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Dasar Hukum Umum

Pengaturan mengenai keamanan dunia maya tidak terlepas daripada pengaturan bidang komunikasi dan informatika yang menjadi kewenangan Kementerian Komunikasi dan Informatika. Undang-undang Nomor 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik (Undang-undang ITE) [4] sebagaimana telah diperbarui menjadi Undang-undang Nomor 19 Tahun 2016 [5] menjadi acuan dalam proses penegakan hukum terhadap tindakan kejahatan yang berkaitan dengan praktik-pratik di dunia maya.

Tindakan kejahatan yang berkaitan dengan praktik-praktik di dunia maya telah ditetapkan sebagai tindakan yang dilarang secara tegas. Pelarangan yang ada diatur di dalam Bab VII, mulai dari Pasal 27 hingga Pasal 37 Undang-undang ITE. Pengaturan pelarangan tersebut lebih ditujukan untuk menjerat para pelaku tindakan kriminal yang berkaitan dengan dunia maya.

Adapun pengaturan yang berhubungan dengan perintah untuk menerapkan tindakan pengamanan dalam transaksi elektronik muncul antara lain dalam Pasal 12, Pasal 14, Pasal 15, dan Pasal 40 Undang-undang ITE.

Pasal-pasal tersebut mempersyaratkan tindakan pengamanan terhadap data elektronik oleh pengguna, penyelenggara sertifikasi elektronik, penyelenggara sistem elektronik, dan instansi terkait.

Sebagai peraturan perundang-undangan yang mengatur secara umum (*leg generalist*) Undang-undang ITE tidak melingkupi pengaturan persyaratan penerapan keamanan dunia maya untuk keseluruhan pengguna peralatan digital ataupun yang terhubung dengan jaringan komunikasi data seperti internet.

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta [6] juga menyinggung penyalahgunaan hak cipta yang berkaitan dengan program komputer. Undang-undang Nomor 25 Tahun 2003 tentang Tindak Pidana Pencucian Uang [7] juga mengatur pidana terhadap tindakan pencucian uang melalui transfer atau transaksi secara elektronik. Selain itu Undang-undang Nomor 15 Tahun 2003 tentang Pemberantasan Tindak Pidana Terorisme [8] juga mengatur mengenai alat bukti elektronik dalam pelacakan atau penyelidikan terhadap tindakan teror.

Senafas dengan muatan pengaturan yang ada di Undang-undang ITE, beberapa contoh Undang-undang yang telah disebutkan di atas lebih fokus sebagai landasan hukum dalam penuntutan terhadap pelaku kejahatan yang memanfaatkan dunia maya.

#### Dasar Hukum Khusus

Ancaman dunia maya (*Cybersecurity Threats*) dalam penggunaan berbagai peralatan digital pada instalasi nuklir atau fasilitas radiasi harus diantisipasi sedini mungkin. Rencana dan program keamanan dunia maya harus disusun oleh setiap pemegang izin dan menjadi persyaratan izin yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari sistem proteksi fisik bahan nuklir maupun keamanan sumber radioaktif.

Serangan yang terjadi melalui dunia maya dapat berakibat kepada hilangnya kerahasiaan atau perubahan informasi nuklir, bahkan hilangnya kendali terhadap instalasi atau fasilitas yang dapat memicu kejadian abnormal, insiden, hingga kecelakaan nuklir. Dengan demikian adanya serangan melalui dunia maya atau perangkat digital dapat berdampak ringan hingga kerusakan fisik yang parah dan menimbulkan kerugian finansial ataupun sosial. Hal ini sekaligus menegaskan bahwasanya dalam era dunia digital pada saat ini harus dipadukan fungsi keamanan nuklir melalui penerapan proteksi fisik bahan nuklir atau keamanan sumber radioaktif dengan konsep mengenai keamanan dunia maya.

Pengembangan rencana dan program keamanan dunia maya harus mengacu kepada persyaratan yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai lembaga yang memiliki kewenangan melakukan pengawasan terhadap setiap pemanfaatan tenaga nuklir di tanah air. Isu mengenai pentingnya penerapan persyaratan keamanan dunia maya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari sistem proteksi fisik bahan nuklir maupun keamanan sumber radioaktif harus diatur dalam peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran secara lebih khusus (*leg specialist*).

Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [9] merupakan landasan hukum tertinggi dalam pelaksanaan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang dilaksanakan oleh BAPETEN. Pada saat ini, Undang-undang tersebut sedang dalam proses amandemen.

Pelaksanaan penyusunan Rancangan Undang-undang Pengganti (RUUP) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran yang pada saat ini sedang berlangsung sebagaimana disinggung di atas harus mengakomodir perlunya landasan hukum yang memadai terhadap pentingnya menciptakan keamanan dunia maya sebagai bagian tidak terpisahkan atau bagian pendukung dari keamanan nuklir secara menyeluruh.

Di dalam naskah akademis maupun draf RUUP telah disusun pengaturan keamanan atau kerahasiaan informasi nuklir dalam suatu bab tersendiri. Namun demikian isu yang diangkat masih berkisar pengaturan untuk mengkriminalisasi pelaku kejahatan yang membobol, meretas, atau mengakses informasi nuklir secara tidak sah. Namun demikian persyaratan untuk instalasi nuklir maupun fasilitas radiasi yang memiliki informasi nuklir dan harus dijaga kerahasiaannya, belum secara eksplisit memiliki landasan hukum yang tegas dan kuat.

Di dalam publikasi *IAEA Nuclear Security Series on Security of Nuclear Information* [3] ditegaskan peran dan tanggung jawab negara dalam rangka memperkuat, mengembangkan, dan menerapkan konsep keamanan dunia maya, meliputi:

- a. menetapkan dan memelihara kerangka hukum dan peraturan perundang-undangan untuk keamanan informasi nuklir;
- b. mendefinisikan kerahasiaan informasi keamanan nuklir;
- c. menetapkan klasifikasi atau tingkatan kerahasiaan informasi keamanan nuklir;
- d. menetapkan atau menunjuk institusi yang kompeten untuk melaksanakan dan mengendalikan kerangka keamanan informasi keamanan nuklir; dan
- e. mendefinisikan tindakan yang menyebabkan terjadinya pelanggaran terhadap kerahasiaan informasi keamanan nuklir.

Peran dan tanggung jawab negara sebagaimana diuraikan di atas harus menjadi muatan pengaturan yang ditetapkan di tingkat Undang-undang. Pengaturan secara khusus (*leg specialist*) terhadap isu keamanan dunia maya harus ditetapkan secara harmonis dengan keberadaan peraturan perundang-undangan yang memiliki keterkaitan dengan pencegahan kejahatan melalui dunia maya, antara lain Undang-undang mengenai pencegahan tindak pidana terorisme, perlindungan obyek vital nasional, informasi dan transaksi elektronik, hak cipta, keterbukaan informasi publik, dan lain sebagainya.

Dari pengaturan di tingkat Undang-undang yang biasanya masih bersifat umum, berupa kebijakan nasional, selanjutnya perlu dijabarkan lebih lanjut dalam peraturan perundangan pada tingkatan yang lebih rendah, seperti Peraturan Pemerintah atau Peraturan Kepala BAPETEN (Perka BAPETEN).

Di tingkat Peraturan Pemerintah harus dirumuskan tugas dan tanggung jawab instansi yang berwenang melakukan kegiatan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir (BAPETEN). Tanggung jawab serta peranan BAPETEN dalam kerangka persyaratan keamanan dunia maya, diantaranya berkaitan dengan [3]:

- penetapan persyaratan yang efektif dan sesuai untuk pemegang izin instalasi nuklir atau fasilitas radiasi dalam suatu peraturan secara memadai;
- evaluasi dan verifikasi pemenuhan persyaratan serta pelaksanaan keamanan dunia maya melalui sistem perizinan dan inspeksi;
- pelaksanaan penegakan hukum dalam hal terjadi pelanggaran persyaratan yang berlaku; serta
- perumusan kebijakan yang diperlukan dalam rangka penerapan persyaratan keamanan dunia maya.

### Peraturan Teknis

Landasan hukum yang ditetapkan di tingkat Undang-undang dan Peraturan Pemerintah kemudian harus dijabarkan lebih lanjut dalam perangkat peraturan yang lebih teknis dan detail (dalam hal ini pada tingkat Perka BAPETEN).

Pada saat ini Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Persyaratan Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir [10], serta Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Keamanan Sumber Radioaktif [11] masih berlaku. Namun demikian dalam kedua Perka BAPETEN tersebut belum sama sekali diakomodir isu mengenai keamanan dunia maya.

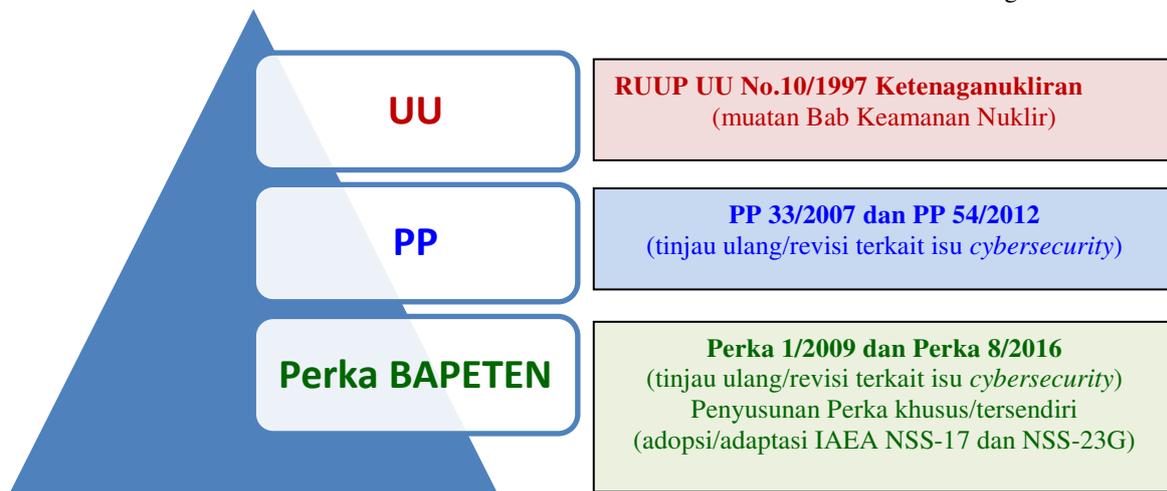
Di dalam Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 telah diatur persyaratan untuk menerapkan kerahasiaan informasi nuklir. Data dan informasi secara

mendetail mengenai suatu instalasi nuklir maupun penggunaan bahan nuklir harus dijaga kerahasiaannya dengan sistem dan prosedural yang ditetapkan untuk setiap instalasi. Namun demikian persyaratan tersebut belum mengantisipasi kerentanan penggunaan sistem instrumentasi dan kendali berbasis teknologi digital maupun yang terhubung dengan jaringan komunikasi yang luas sebagaimana internet.

Pada saat ini tengah berlangsung kegiatan revisi terhadap Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009. Dalam revisi yang dirumuskan nantinya diharapkan isu terkait keamanan dunia maya dapat menjadi salah satu muatan persyaratan baru yang diterapkan untuk pemegang izin atau pemilik instalasi nuklir.

Persyaratan teknis yang ditambahkan untuk pemegang izin instalasi nuklir terkait tindakan antisipasi adanya kerentanan keamanan dunia maya sekurang-kurangnya harus mencakup isu penting, antara lain [12]:

- komitmen manajemen untuk menerapkan keamanan dunia maya;
- pengembangan kebijakan, program, dan rencana keamanan dunia maya;
- keterpaduan program proteksi fisik bahan nuklir atau keamanan sumber radioaktif dengan keamanan dunia maya;
- analisis dan pengelolaan risiko keamanan dunia maya;
- penilaian dan evaluasi penerapan keamanan dunia maya;
- peningkatan kesadaran dan pelatihan personil terkait sistem kendali instalasi;
- geladi kedaruratan dunia maya; dan
- tindakan penanggulangan dan pemulihan adanya kedaruratan akibat serangan dunia maya.



**Gambar 2.** Strategi pengaturan isu keamanan dunia maya

Gambar 2 memperlihatkan skema strategi penguatan landasan hukum untuk pengaturan persyaratan keamanan dunia maya, mulai tingkat Undang-undang, Peraturan Pemerintah, hingga Perka BAPETEN guna dikembangkan lebih lanjut di masa yang akan datang sebagaimana telah diuraikan pada bagian-bagian sebelumnya.

Di samping Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009, khusus dalam hal penggunaan zat radioaktif di bidang fasilitas radiasi juga diatur persyaratan

keamanan sumber radioaktif di dalam Perka 8 Tahun 2016. Seiring mengemukanya isu keamanan dunia maya, maka keberadaan Perka BAPETEN tersebut juga harus ditinjau atau bahkan direvisi.

### V. KESIMPULAN

Penggunaan sistem digital pada instalasi nuklir atau fasilitas radiasi riskan terhadap ancaman keamanan dunia maya. Ancaman dunia maya dapat mempengaruhi kerahasiaan (*confidentiality*), integritas (*integrity*), dan

ketersediaan (*availability*) data, informasi, hingga sistem kendali industri. Penerapan persyaratan keamanan dunia maya kepada pemegang izin instalasi nuklir atau fasilitas radiasi harus memiliki landasan hukum, mulai di tingkat Undang-undang, Peraturan Pemerintah, dan Perka BAPETEN. Peraturan perundang-undangan tersebut harus harmonis dengan peraturan perundang lain yang berkaitan dengan pengaturan aplikasi dunia maya, seperti Undang-undang mengenai informasi dan transaksi elektronik, hak cipta, pencegahan tindak pidana pencucian uang, serta pencegahan tindak pidana terorisme.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim (2017), Pengenalan Teknis Terhadap *Cybersecurity* pada Fasilitas Nuklir dan Radiologi, Modul Pelatihan *Cybersecurity*, US NNSA, Idaho;
- [2] IAEA (2011), *Computer Security on Nuclear Facilities*, IAEA-NSS-No.17, Vienna;
- [3] IAEA (2015), *Security of Nuclear Information*, IAEA-NSS-No.23G, Vienna;
- [4] Republik Indonesia (2011), Undang-undang Nomor 11 Tahun 2008 tentang Informatika dan Transaksi Elektronik, Kementerian Setneg, Jakarta;
- [5] Republik Indonesia (2016), Undang-undang Nomor 19 Tahun 2016 tentang Perubahan atas Undang-undang Nomor 11 Tahun 2016 tentang Informatika dan Transaksi Elektronik, Kementerian Setneg, Jakarta;
- [6] Republik Indonesia (2002), Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta, Kementerian Setneg, Jakarta;
- [7] Republik Indonesia (2003), Undang-undang Nomor 25 Tahun 2003 tentang Tindak Pidana Pencucian Uang, Kementerian Setneg, Jakarta;
- [8] Republik Indonesia (2003), Undang-undang Nomor 15 Tahun 2003 tentang Pemberantasan Tindak Pidana Terorisme, Kementerian Setneg, Jakarta;
- [9] Republik Indonesia (1997), Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, BAPETEN, Jakarta;
- [10] BAPETEN (2009), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta;
- [11] BAPETEN (2016), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Keamanan Sumber Radioaktif, BAPETEN, Jakarta;
- [12] NIST (1995), *An Introduction to Computer Security*, NIST, USA.



## INTEGRASI KESELAMATAN DAN KEAMANAN PADA SIKLUS HIDUP SISTEM YANG PENTING UNTUK KESELAMATAN BERBASIS KOMPUTER

**Farid Noor Jusuf, Catur Febriyanto Sutopo**

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

e-mail: [f.jusuf@bapeten.go.id](mailto:f.jusuf@bapeten.go.id), [c.febriyanto@bapeten.go.id](mailto:c.febriyanto@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Dalam persiapan pembangunan instalasi nuklir untuk generasi lanjut perlu mempertimbangkan bahwa sistem yang penting untuk keselamatan telah didesain dengan berbasiskan komputer. Modernisasi yang dilakukan pada sistem dalam instalasi nuklir juga ikut meningkatkan penggunaan sistem digital untuk kontrol proses. Di samping memiliki keunggulan, sistem berbasis komputer memiliki kelemahan yaitu sangat rentan terhadap ancaman serangan saiber. Tujuan utama keamanan nuklir pada dasarnya sama dengan keselamatan nuklir, yaitu melindungi manusia dan lingkungan hidup, sehingga perlu adanya harmonisasi antara keselamatan dan keamanan nuklir, meskipun terdapat perbedaan yang terletak pada sumber yang menjadi potensi risiko dan konsekuensi yang ditimbulkan. Metode yang dilakukan dalam makalah ini adalah dengan melakukan review terhadap standar internasional yang memuat ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi dalam upaya untuk melakukan integrasi keselamatan dan keamanan pada siklus hidup sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer. Dalam makalah ini akan dibahas upaya integrasi keselamatan dan keamanan dengan mempertimbangkan siklus hidup pengembangan sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer dan penerapan pertahanan berlapis yang berdasarkan risiko dan bahaya yang dapat terjadi.

**Kata kunci:** keamanan siber, siklus hidup

### ABSTRACT

*In preparation for the construction of nuclear installations for advance generations it is necessary to consider that systems important to safety have been designed on a computer-based systems. Modernization carried out on systems in nuclear installations also increases the use of digital systems for process control. In addition to having advantages, computer-based systems have the disadvantage of being particularly vulnerable to cyber attack threats. The ultimate goal of nuclear security is essentially the same as nuclear safety: protecting people and the environment, so there is a need for harmonization between nuclear safety and security, although there is a difference that in the source of the potential risks and consequences. The method undertaken in this paper is a review of international standards containing provisions that must be met in an mean to integrate the safety and security of the life cycle of computer based systems important to safety. This paper addresses the efforts to integrate safety and security by considering the life cycle of system development that is essential for computer-based safety and the application of defense in depth based on risk and hazards that can occur.*

**Keywords:** cyber security, life cycle

## I. PENDAHULUAN

Dalam persiapan pembangunan instalasi nuklir untuk generasi lanjut (misalnya generasi ke-IV) perlu mempertimbangkan bahwa sistem yang penting untuk keselamatan telah didesain dengan berbasiskan komputer. Modernisasi yang dilakukan pada sistem dalam instalasi nuklir (misalnya kegiatan *upgrade* dari sistem berbasis analog ke sistem berbasis digital) meningkatkan penggunaan sistem digital untuk kontrol proses di dalam instalasi nuklir.

Contoh sistem yang penting untuk keselamatan dalam instalasi nuklir misalnya sistem instrumentasi dan kontrol untuk akuisisi data dari sensor, menyampaikan informasi dari sensor ke aktuator, melaksanakan aktuasi kontrol, dan menyajikan informasi tentang kondisi proses. Pengelolaan data dan informasi sampai menghasilkan keluaran pada sistem berbasis komputer

berdasarkan logika dalam perangkat lunak yang tertanam. Keuntungan penggunaan sistem berbasis komputer antara lain kontrol dilakukan secara otomatis, respon terhadap kejadian menjadi lebih cepat dan berkurangnya biaya operasional.

## II. PERMASALAHAN

Penggunaan sistem berbasis komputer dengan perangkat lunak yang tertanam (termasuk adanya *defect* atau *bug* yang terdapat dalam perangkat lunak), dapat meningkatkan kerentanan dan peluang untuk dieksplorasi sebagai ancaman serangan saiber [1].

Ancaman serangan saiber dari pihak luar misalnya sabotase terhadap sistem yang penting untuk keselamatan, dengan dampak yang timbul antara lain kegagalan atau perilaku menyimpang dari sistem yang penting untuk keselamatan. Serangan saiber dapat

berdampak pada satu sistem atau beberapa sistem, serta berhasil menembus beberapa lapisan pertahanan berlapis dari sistem yang penting untuk keselamatan [2].

Selain sabotase yang berdampak langsung terhadap sistem yang penting untuk keselamatan, bentuk lain dari serangan saiber yang dapat dilakukan oleh pihak luar yaitu *sniffing* dengan tujuan memperoleh data yang berisi informasi penting terkait dengan keselamatan dan keamanan instalasi nuklir, yang dapat digunakan untuk merencanakan pencurian bahan nuklir atau terjadinya kejadian terpostulasi dalam instalasi nuklir dengan mengurangi ketersediaan sistem yang penting untuk keselamatan [2].

Contoh kasus serangan saiber terhadap instalasi nuklir misalnya serangan Stuxnet *worm* pada instalasi pengkayaan uranium Natanz, Iran. Analisis dan *reverse engineering* yang dilakukan terhadap Stuxnet *worm*, menunjukkan *worm* tersebut didesain untuk kegiatan spionase dan sabotase terhadap sistem kontrol. Sabotase dilakukan pada target melalui modifikasi kode dalam PLC sesuai dengan keinginan dari pihak penyerang dan menyembunyikan perubahan yang dilakukan dari operator [3].

Dalam publikasi yang diterbitkan oleh *Federal Office for Information Security* (Jerman), sepuluh besar ancaman serangan saiber yang timbul terhadap sistem kontrol industri di tahun 2016 antara lain:[4]

1. *social engineering* dan *phising*;
2. penyusupan *malware* melalui media *removeable* dan perangkat keras eksternal;
3. infeksi *malware* melalui internet dan intranet;
4. penyusupan melalui akses *remote*;
5. kesalahan manusia dan sabotase;
6. komponen kontrol yang terhubung melalui internet;
7. malfungsi teknis dan *force majeure*;
8. *compromising of extranet* dan komponen awan;
9. Serangan (D)Dos ; dan
10. *Compromising of Smartphones* dalam daerah produksi.

Masalah keamanan saiber pada sistem yang penting untuk keselamatan telah menjadi ancaman nyata. Kerangka pengaturan yang memadai diperlukan untuk menghadapi ancaman serangan saiber. Tulisan ini menguraikan upaya untuk memperkuat kerangka pengaturan untuk persyaratan sistem yang penting untuk keselamatan dalam menghadapi ancaman serangan saiber.

### III. KERANGKA KETENTUAN DALAM STANDARD INTERNASIONAL

Dalam upaya menghadapi ancaman serangan saiber terhadap instalasi nuklir, IAEA merekomendasikan perlu adanya proteksi terhadap sistem berbasis komputer, yang dinyatakan dalam INFCIRC/225/rev 5 [5]: “sistem berbasis komputer yang digunakan untuk proteksi fisik, keselamatan nuklir dan pertanggungjawaban dan pengendalian bahan nuklir harus diproteksi terhadap upaya serangan saiber atau manipulasi”.

Dalam upaya untuk meningkatkan proteksi terhadap serangan saiber, IAEA juga telah mengeluarkan pedoman terkait dengan implementasi

keamanan komputer dalam instalasi nuklir, yaitu: NSS-17: *Computer Security at Nuclear Facilities*. NSS-17 berisi pedoman ketentuan teknis untuk mengintegrasikan keamanan komputer dengan proteksi fisik instalasi nuklir. Dalam NSS-17 diuraikan tujuan keamanan komputer yaitu: [6]

1. melindungi kerahasiaan, integritas dan ketersediaan data atau sistem komputer; dan
2. mencegah, mendeteksi dan merespon tindakan kriminal, sengaja dan tidak sah terhadap bahan nuklir, zat radioaktif, instalasi nuklir atau fasilitas radiasi yang menimbulkan konsekuensi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup.

Dalam NSS-17 dinyatakan perlunya pemegang izin untuk menyusun dan menetapkan kebijakan keamanan komputer dan menjadi bagian dari sistem proteksi fisik instalasi nuklir. Implementasi kebijakan tersebut melalui tindakan proteksi dengan beberapa lapisan dan metode proteksi yang berbeda, sehingga dapat diwujudkan pertahanan berlapis. Untuk mewujudkan tindakan proteksi, rencana keamanan komputer disusun sebagai bagian dari implementasi kebijakan yang ditetapkan. Rencana keamanan komputer berisi antara lain: [6]

1. organisasi dan tanggungjawab;
2. pengelolaan aset;
3. kajian risiko dan kerentanan;
4. manajemen konfigurasi dan desain sistem keamanan;
5. prosedur pengoperasian keamanan; dan
6. manajemen personil.

Penyusunan rencana keamanan komputer bertujuan antara lain [6]:

- meminimalkan kerentanan;
- tersedianya upaya proteksi;
- identifikasi konsekuensi yang dapat timbul; dan
- identifikasi upaya mitigasi yang diperlukan sesuai dengan tingkatan risiko ancaman saiber pada instalasi nuklir.

Ancaman serangan saiber terhadap sistem instrumentasi dan kontrol dalam instalasi nuklir akan memiliki konsekuensi yang besar karena terkait langsung dengan proses, misalnya kontrol reaksi fisi dalam reaktor nuklir. Upaya untuk mengatasi kerentanan keamanan yang dapat dimanfaatkan dalam serangan saiber terhadap sistem tersebut telah menjadi perhatian utama IAEA, dengan disusunnya pedoman yang masih dalam tahap pembahasan, yaitu : “*Computer Security of Instrumentation and Control Systems at Nuclear Facilities*” [2].

Pada tahap awal dalam upaya untuk mengatasi ancaman serangan saiber, perlu dilakukan identifikasi terhadap tujuan serangan saiber. Tujuan dari serangan saiber secara umum antara lain melakukan sabotase secara langsung atau mengumpulkan informasi terkait dengan kelemahan dari sistem yang dapat dimanfaatkan dalam serangan. Hasil identifikasi terhadap tujuan serangan saiber menjadi masukan untuk kajian risiko keamanan. Kajian yang dilakukan terhadap sistem instrumentasi dan kendali dilakukan, termasuk komponen terkait berdasarkan tingkatan risiko yang dapat timbul. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan

dalam kajian risiko keamanan untuk sistem instrumentasi dan kendali antara lain: [2]

- ancaman dapat terjadi pada setiap siklus hidup sistem;
- serangan dapat berdampak pada satu sistem tersendiri atau beberapa secara simultan
- upaya yang dapat mengubah sinyal proses, dan data konfigurasi peralatan atau perangkat lunak.
- peluang untuk dapat menyusupkan kode atau data berbahaya, misalnya melalui saluran komunikasi, dan peralatan yang terhubung untuk sementara waktu.

Pengembangan sistem instrumentasi dan kontrol yang penting untuk keselamatan perlu dipastikan untuk dapat meminimalkan kerentanan yang ada dan mengidentifikasi potensi kerentanan residu dalam setiap tahap siklus hidup sistem instrumentasi dan kendali. Siklus hidup sistem instrumentasi dan kendali antara lain: [2]

1. perencanaan proses;
2. dasar desain;
3. alokasi fungsional ;
4. arsitektur instrumentasi dan kendali secara keseluruhan;
5. spesifikasi peralatan;
6. penentuan item yang *pre-developed*;
7. desain dan implementasi rinci;
8. integrasi sistem;
9. validasi sistem;
10. pemasangan, integrasi dan uji fungsi;
11. operasi dan perawatan;
12. modifikasi; dan
13. dekomisioning.

Contoh regulasi yang mensyaratkan adanya upaya proteksi terhadap sistem yang berbasis komputer dalam instalasi nuklir adalah peraturan dari Amerika Serikat, seperti dinyatakan dalam 10 CFR Bagian 73.54 “Proteksi sistem komputer dan komunikasi digital dan jaringan”, disebutkan: tersedianya proteksi yang memadai terhadap sistem komputer dan komunikasi digital dari serangan saiber dengan mempertimbangkan ancaman dasar desain [7].

Implementasi dari ketentuan 10 CFR Bagian 73.54 diuraikan secara rinci dalam pedoman yang antara lain:

- *Regulatory Guide 5.71: Cyber Security Programs for Nuclear Facilities*; dan
- *Regulatory Guide 1.152: Criteria for Use of Computers in Safety Systems of Nuclear Power Plants*.

Dalam *Regulatory Guide 5.71: Cyber Security Programs for Nuclear Facilities* disyaratkan untuk melakukan identifikasi aset digital yang perlu dilindungi dari ancaman serangan saiber. Hasil identifikasi disebut sebagai aset digital kritis (*critical digital assets*, CDA) untuk menjadi masukan dalam penyusunan rencana keamanan saiber. *Regulatory Guide 5.71* menguraikan muatan dalam rencana keamanan saiber yang harus disusun oleh pemegang izin, antara lain berisi [7]:

1. proteksi sistem komunikasi dan komputer digital dan jaringan yang memadai terhadap serangan saiber;
2. uraian tentang dampak yang timbul dari serangan saiber;
3. identifikasi CDA;
4. program keamanan saiber;
5. integrasi program keamanan saiber dalam program proteksi fisik; dan
6. strategi pertahanan berlapis.

Dalam *Regulatory Guide 1.152: Criteria for Use of Computers in Safety Systems of Nuclear Power Plants* diuraikan ketentuan yang lebih spesifik terkait dengan desain, pengembangan, dan implementasi proteksi terhadap sistem instrumentasi dan kontrol berbasis komputer dalam: [8]

- sistem yang penting untuk keselamatan dan
- kegiatan terkait kesiapsiagaan nuklir.

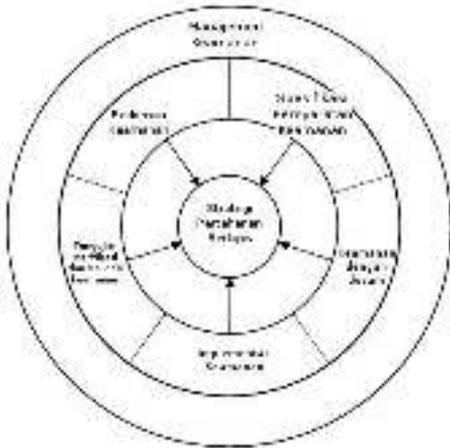
Sebagai upaya proteksi untuk memastikan keselamatan dan keamanan selama pembangunan, pengoperasian dan dekomisioning PLTN, dalam *Regulatory Guide 1.152* diuraikan siklus hidup untuk pengembangan proteksi sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer. *Regulatory Guide 1.152* menguraikan ketentuan untuk mewujudkan proses pengembangan dan lingkungan pengoperasian yang aman selama siklus hidup [8].

Dalam *Regulatory Guide 1.152*, model *waterfall* digunakan menjadi kerangka untuk menggambarkan tahapan dalam siklus hidup yang terdiri atas: [8]

1. konsep
2. persyaratan
3. desain
4. implementasi
5. pengujian
6. pemasangan, pengujian dan penerimaan
7. operasi
8. perawatan
9. penonaktifan

Pada setiap tahapan siklus hidup, pengembangan upaya proteksi harus mempertimbangkan risiko dan bahaya yang dapat timbul terhadap keselamatan dan keamanan sebagai akibat dari serangan saiber.

Terkait dengan proses pengembangan upaya proteksi terhadap keamanan sistem yang berbasis komputer tersedia beberapa standar internasional, misalnya ISA-62443. Pada makalah ini menguraikan salah satu seri ISA-62443, yaitu ISA-62443-4-1. Standar ISA-62443-4-1 berisi uraian tentang kerangka untuk memastikan sistem kontrol memenuhi persyaratan keamanan sesuai dengan tingkatan risiko yang ditetapkan selama siklus hidup. [9]



**Gambar 1.** Strategi pertahanan berlapis yang menjadi filosofi untuk memastikan siklus hidup sistem aman [9]

Gambar 1 menunjukkan konsep prinsip pertahanan berlapis yang diuraikan dalam ISA-62443-4-1. Konsep pertahanan berlapis disusun dengan tujuan untuk memastikan sistem kontrol yang aman dan selamat selama siklus hidup. Konsep pertahanan berlapis tersebut meliputi: [9]

1. manajemen keamanan;
2. spesifikasi persyaratan keamanan;
3. keamanan yang didesain;
4. implementasi keamanan;
5. pengujian verifikasi dan validasi keamanan; dan
6. pedoman keamanan

Pengelolaan terhadap *defect* dan pemuktahiran termasuk juga sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam pertahanan berlapis.

Dalam manajemen keamanan disyaratkan perlunya untuk memastikan kegiatan yang terkait keamanan direncanakan, didokumentasikan dan dijalankan secara memadai selama siklus hidup dari sistem. Spesifikasi persyaratan keamanan disyaratkan untuk disusun agar dapat memastikan kebutuhan terkait kemampuan keamanan telah sesuai dengan tingkatan keamanan yang ditetapkan, sebagai contoh autentifikasi, enkripsi, audit dan proteksi terkait antarmuka dengan eksternal. Ketentuan terkait keamanan yang didesain mensyaratkan untuk memastikan sistem telah aman berdasarkan desain yang dibuat, dari desain konseptual sampai dengan desain rinci melalui upaya untuk menerapkan pola pertahanan berlapis. Pola pertahanan berlapis tersebut terdiri atas beberapa lapisan yang apabila satu lapisan dapat ditembus lapisan lainnya tetap dapat melindungi sistem dari serangan. Ketentuan implementasi keamanan mensyaratkan penerapan harus dilakukan secara aman untuk setiap fitur dari sistem. Pengujian verifikasi dan validasi keamanan perlu dilakukan untuk memastikan persyaratan keamanan dan pertahanan berlapis telah dipenuhi. Pedoman keamanan disyaratkan harus tersedia terkait dengan dokumentasi yang berisi ketentuan untuk mengintegrasikan, mengkonfigurasi dan merawat pertahanan berlapis yang ada dalam sistem.

#### IV. PEMBAHASAN

Keselamatan dari sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer telah menjadi perhatian BAPETEN sebagai badan pengawas. Pada tahun 2012, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer pada Reaktor Daya, berisi ketentuan bagi pemegang izin untuk memenuhi persyaratan umum desain dan persyaratan teknis desain. [10]

Pertimbangan terhadap keamanan dalam desain sistem yang penting untuk keselamatan telah disyaratkan sebagai bagian dari persyaratan umum desain yang tercantum dalam Pasal 4 ayat (1) huruf g dari Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2012. Lampiran I dari Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2012 menguraikan uraian yang lebih rinci tentang persyaratan keamanan, yaitu: sistem keselamatan berbasis komputer dilengkapi dengan proteksi terhadap serangan fisik, penyusupan (*intruder*) sengaja dan tidak disengaja, pemalsuan (*fraud*), virus dan sebagainya. Sistem Keselamatan Berbasis Komputer didesain tidak terhubung secara langsung dengan jaringan di luar instalasi.

Dalam penjelasan PP Nomor 54 Tahun 2012 Pasal 61 ayat (1) huruf a diuraikan tujuan keselamatan instalasi nuklir yang terdiri atas tujuan umum keselamatan instalasi nuklir dan tujuan khusus keselamatan instalasi nuklir. Tujuan umum keselamatan instalasi nuklir adalah untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup yang dilakukan melalui upaya pertahanan yang efektif terhadap timbulnya bahaya radiasi di instalasi nuklir. Sedangkan tujuan khusus keselamatan instalasi nuklir terdiri atas tujuan proteksi radiasi dan tujuan keselamatan teknis. Tujuan keselamatan teknis antara lain berisi: mencegah terjadinya kecelakaan selama pemanfaatan instalasi nuklir dan bahan nuklir serta melakukan mitigasi dampak radiologi apabila kecelakaan tetap terjadi, memastikan dengan tingkat kepercayaan tinggi bahwa semua kecelakaan yang telah dipertimbangkan dalam desain instalasi nuklir memberikan risiko serendah-rendahnya, dan memastikan bahwa kecelakaan dengan dampak radiologi yang serius mempunyai kebolehjadian yang sangat kecil [11]. Untuk keamanan nuklir merupakan upaya untuk mencegah, mendeteksi dan merespons terhadap tindakan kriminal atau tidak sengaja yang melibatkan atau secara langsung pada bahan nuklir, zat radioaktif, instalasi nuklir dan fasilitas radiasi [6].

Perbedaan dalam mewujudkan kondisi yang selamat dan aman, terkait dengan sumber risiko. Dalam hal keselamatan, bahaya timbul dari perilaku sistem yang ada di dalam instalasi nuklir dan menjadi sumber risiko yang dipertimbangkan, misalnya kegagalan sistem kontrol yang mengakibatkan proses dalam instalasi menjadi tidak terkendali dan mengancam keselamatan masyarakat dan lingkungan hidup. Dalam hal keamanan, ancaman dan konsekuensi yang timbul terhadap instalasi nuklir menjadi sumber risiko yang harus dimitigasi. Misalnya ancaman serangan saiber pada sistem instrumentasi dan kontrol pada instalasi nuklir dalam bentuk:

- sabotase; atau

- upaya manipulasi data terkait akuntansi bahan nuklir.

Umumnya desain dari sistem yang penting untuk keselamatan disyaratkan memiliki keandalan yang tinggi. Beberapa kelemahan yang ada terkait penggunaan sistem yang berbasis komputer atau digital antara lain

- kuantisasi *states*;
- pencuplikan yang bervariasi;
- adanya paket *dropout* pada saat transmisi melalui jalur komunikasi;
- asinkronisasi;
- tundaan yang bervariasi;
- *bugs*; dan
- adanya error dalam pengkodean di perangkat lunak.

Kelemahan tersebut dapat dieksplorasi dan dimanfaatkan oleh pihak yang tidak bertanggungjawab untuk melakukan sabotase terhadap sistem yang penting untuk keselamatan yang dapat membahayakan instalasi nuklir, misalnya paket data tidak sampai sesuai di tujuan sehingga sistem yang penting untuk keselamatan menjadi malfungsi yang membahayakan keselamatan instalasi nuklir dan mengancam masyarakat dan lingkungan hidup.

Dalam *Nuclear Security Fundamentals* dinyatakan: keselamatan dan keamanan nuklir pada dasarnya mempunyai tujuan yang sama, yaitu melindungi masyarakat dan lingkungan hidup. Upaya keselamatan dan keamanan perlu diintegrasikan dalam desain sehingga terjadi sinergi antara keselamatan dan keamanan [12]. Misalnya upaya deteksi virus atau *worm* dalam sistem instrumentasi dan kontrol perlu dipastikan tidak mempengaruhi kinerja (variasi tundaan atau paket *dropout*) yang dapat mengakibatkan kondisi tidak stabil. Contoh lainnya *bugs* dari perangkat lunak tertanam dalam sistem instrumentasi dan kendali yang penting untuk keselamatan berbasis komputer menimbulkan potensi adanya *error* pengkodean di dalam perangkat lunak yang dapat memicu kondisi kegagalan dengan penyebab sama dalam kanal redundansi sistem keselamatan.

Pengembangan sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer yang mengintegrasikan keselamatan dan keamanan perlu menjadi materi substansi pengaturan dalam Peraturan Kepala BAPETEN terkait dengan ketentuan sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer. Ancaman terhadap sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer dapat memanfaatkan kelemahan sistem, sehingga perlu dipastikan untuk mempertimbangkan masalah keamanan mulai dari sedini mungkin. Siklus hidup tahapan proses sistem berbasis komputer menjadi dasar dalam upaya mengintegrasikan persyaratan keselamatan dan keamanan. Pada tahap awal identifikasi CDA dilakukan untuk menentukan struktur, sistem dan/atau komponen yang penting untuk keselamatan dan kerentanan terhadap ancaman serangan. Tingkatan risiko untuk setiap CDA hasil proses identifikasi perlu ditetapkan. Dalam setiap tahapan siklus hidup, substansi pengaturan berisi ketentuan yang harus dipenuhi oleh pemegang izin dengan mempertimbangkan risiko dan

bahaya di setiap tahapan dan menerapkan pola pertahanan berlapis (seperti diuraikan dalam ISA-62443-4-1). Pengembangan pola pertahanan berlapis dilakukan berdasarkan harmonisasi hasil analisis terhadap kecelakaan dasar desain dan ancaman dasar desain dari instalasi nuklir. Misalnya hasil analisis ancaman dasar desain menunjukkan potensi injeksi kode yang mempengaruhi kinerja (variasi tundaan lebih lama daripada disyaratkan sistem), upaya identifikasi terhadap adanya kode yang berbahaya perlu untuk tetap memenuhi persyaratan yang memastikan instalasi nuklir tidak menuju ke kondisi kecelakaan dasar desain.

Pada bagian akhir jaminan mutu perangkat lunak, verifikasi dan validasi, perlu untuk dipersyaratkan selain keragaman. Upaya verifikasi dan validitas, autentifikasi, dan integritas pada kode merupakan syarat utama dalam keselamatan juga mendukung upaya keamanan dalam identifikasi adanya penyusupan kode yang bertujuan untuk melakukan serangan saiber.

## V. KESIMPULAN

Serangan saiber terhadap sistem instrumentasi dan kendali berbasis komputer memiliki potensi untuk menimbulkan kerusakan pada struktur, sistem, dan komponen, dan/atau pencurian atau penyalahgunaan informasi terkait instalasi nuklir dan bahan nuklir. Konsekuensi yang dapat timbul dari serangan saiber dapat menimbulkan bahaya bagi masyarakat dan lingkungan hidup.

Desain sistem yang penting untuk keselamatan untuk generasi terkini umumnya telah berbasis komputer. Kerentanan dan kelemahan yang ada dalam perangkat lunak memungkinkan untuk dimanfaatkan dalam melancarkan serangan yang membahayakan keselamatan. Ketentuan yang mengintegrasikan keselamatan dan keamanan untuk sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer perlu disusun dengan mempertimbangkan siklus hidup dari sistem dan menerapkan pertahanan berlapis pada setiap tahapan siklus hidup yang sesuai dengan tingkat risiko yang ditetapkan. Pengembangan pola pertahanan berlapis dilakukan berdasarkan harmonisasi hasil analisis terhadap kecelakaan dasar desain dan ancaman dasar desain dari instalasi nuklir.

Karena rentannya sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer terhadap serangan saiber diperlukan suatu persyaratan untuk menjamin bahwa sistem tersebut aman dari serangan saiber. Meskipun sejauh ini sudah ada ketentuan terkait dengan keamanan sistem keselamatan berbasis komputer, namun belum sepenuhnya mempertimbangkan siklus hidup pengembangan sistem yang penting untuk keselamatan berbasis komputer. Persyaratan tersebut digunakan oleh pemegang izin sebagai panduan untuk mengintegrasikan keselamatan dan keamanan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Johnson CW, 2012, *SaiberSafety: on the interactions between SaiberSecurity and the software engineering of safety-critical systems*. In: Dale C, Anderson T, editors. *Achieving system safety*. London, UK: Springer Verlag; p. 85–96.)

- [2] IAEA, 2014, *Computer Security of Instrumentation and Control Systems at Nuclear Facilities, Draft Technical Guidance*, Vienna
- [3] Albright, D., Branman, P., Walrond, C., 2010, *Did Stuxnet Take Out 1000 Centrifuges at the Natanz Enrichment Plant? Preliminary Assessment*, Institute for Science and International Security
- [4] Federal Office for Information Security, 2016, *Industrial Control System Security, Top 10 Threats and Countermeasures 2016*, BS-CS 005E, Version 1.20, 08/01/2016.
- [5] IAEA, 2011, *Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225 Revision 5, IAEA Nuclear Security Series No.13*, Vienna.
- [6] IAEA, 2011, *Computer Security at Nuclear Facilities*, IAEA Nuclear Security Series No.17, Vienna.
- [7] US NRC, 2010, *Regulatory Guide 5.71: Saiber Security Programs For Nuclear Facilities*, US NRC
- [8] US NRC, 2011, *Regulatory Guide 1.152 Revision 3: Criteria for Use of Computers in Safety Systems of Nuclear Power Plants*, US NRC
- [9] ISA, 2016, ISA-62443-4-1: Security for Industrial Automation and Control System Part 4-1: Secure Product Development Life-cycle Requirements, draft, ISA.
- [10] BAPETEN, 2012, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer pada Reaktor Daya, BAPETEN, jakarta
- [11] ,2012, Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir
- [12] IAEA, 2013, *Objective and Essential Elements of A State's Nuclear Security Regime*, IAEA Nuclear Security Series No.20, Vienna



## Seminar Keselamatan Nuklir 2017



### PERHITUNGAN REAKTIVITAS LEBIH REAKTOR KARTINI MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE

Arif Isnaeni

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

e-mail: a.isnaeni@bapeten.go.id

#### ABSTRAK

Reaktor Kartini didesain dengan daya maksimum 250 kilo watt, saat ini reaktor dioperasikan dengan daya maksimum 100 kilo watt. Reaktor ini digunakan untuk keperluan iradiasi, analisis aktivasi neutron, eksperimen dan latihan personal. Terdapat dua tipe bahan bakar yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204. Saat ini ijin penggunaan bahan bakar yang diberikan oleh BAPETEN berjumlah 77 buah, terdiri dari 73 buah tipe 104 dan 4 buah tipe 204. Bahan bakar yang berada di teras reaktor 71 buah, terdiri dari 69 buah tipe 104 dan 2 buah tipe 204. Terdapat 4 buah tipe 104 di *bulk shielding*. Reaktivitas lebih adalah surplus reaktivitas dari yang dibutuhkan untuk mencapai kekritisan, di dalam teras reaktor (dengan menggunakan bahan bakar ekstra) untuk mengkompensasi fraksi bakar/*burnup* bahan bakar dan akumulasi racun produk fisi selama operasi. Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown* reaktor. Fungsi batang kendali dibagi dalam tiga bagian yaitu batang pengatur (*regulating rod*), batang kompensasi (*shim rod*) dan batang pengaman (*safety rod*) yang masing-masing dilakukan dengan menyisipkan batang dari bahan penyerap neutron kuat pada posisi tertentu di teras reaktor. Dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Kartini dilakukan pengkajian mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan keselamatan reaktor. Salah satu aspek yang dikaji adalah aspek neutronik, untuk tahap awal kajian aspek neutronik, dibuat simulasi dengan menggunakan program komputer SCALE. Pada penelitian ini penulis hanya akan membahas mengenai reaktivitas lebih Reaktor kartini. Dalam simulasi perhitungan reaktivitas lebih ini digunakan bahan bakar baru (*fresh fuel*), kondisi ini merupakan kondisi konservatif, Kritikalitas pada saat *fully up* adalah  $1.03237 \pm 0.00018$ . Kritikalitas pada saat *fully down* adalah  $0.9783 \pm 0.0017$ . Nilai reaktivitas lebih dari teras reaktor ( $\rho_{\text{excess}}$ ) adalah 3.1355 % dk/k.

**Kata kunci:** Reaktivitas lebih, Reaktor Kartini, SCALE.

#### ABSTRACT

*Kartini reactor is designed with a maximum power 250 kilo watts, the reactor is operated with a maximum power of 100 kilo watts. This reactor is used for irradiation purposes, neutron activation analysis, experiment and personnel training. There are two types of fuel used in the Kartini reactor, type 104 and type 204. Currently the fuel permit granted by BAPETEN there are 77 pieces, consisting of 73 types 104 and 4 types 204. The 71 pieces fuel in the reactor core, consisting of 69 types 104 and 2 pieces 204. There are 4 pieces of type 104 in bulk shielding. Excess reactivity is the surplus of reactivity than necessary to achieve criticality, inside the reactor core (by using extra fuel) to compensate fuel burnup and neutron poisson fission product accumulation during operation. Reactivity control systems are designed and installed for normal operating conditions and reactor shutdown. The control rod are divided into three parts: regulating rods, shim rod and safety rod by inserting a rod of strong neutron absorber material at a particular position on the reactor core. Related to operation permit extension of Kartini Reaktor, we conducted assessment of various aspects related to the safety of the reactor. One of the aspects studied is the neutronic aspect, for the initial phase of the neutronic aspect study, a simulation was performed using SCALE computer code. In this study the author will only discuss about the excess reactivity of Kartini Reaktor. In this reactivity calculation, we used fresh fuel, this is a conservative condition. Fully up criticality is  $1.03237 \pm 0.00018$ . Fully down criticality is  $0.9783 \pm 0.0017$ . The excess reactivity value ( $\rho_{\text{excess}}$ ) in the reactor core is 3.1355 % dk/k.*

**Keywords:** Excess Reactivity, Kartini Reactor, SCALE

#### I. PENDAHULUAN

Reaktor Kartini merupakan reaktor tipe kolam terbuka berpendingin dan bermoderator air dengan bahan bakar paduan uranium zirkonium hidrida dengan pengkayaan rendah (*low enriched uranium*) 20 % [1]. Reaktor didesain dengan daya maksimum 250 kilo watt, saat ini reaktor dioperasikan dengan daya maksimum 100 kilo watt. Reaktor ini digunakan untuk keperluan

iradiasi, analisis NAA, eksperimen dan latihan personal. Reaktor Kartini dibangun pada tahun 1974, reaktor ini mulai beroperasi pada januari 1979.

Reaktor kartini tersusun atas beberapa komponen peralatan, fasilitas eksperimen dan iradiasi, untuk memperoleh fluks yang optimum teras reaktor didesain berbentuk silinder dan dikelilingi oleh reflektor grafit. Teras reaktor dan reflektor terendam air di dasar

tangki reaktor yang juga berbentuk silinder. Air berfungsi sebagai pendingin dan moderator, selain itu air juga berfungsi sebagai perisai radiasi ke arah vertikal [2].

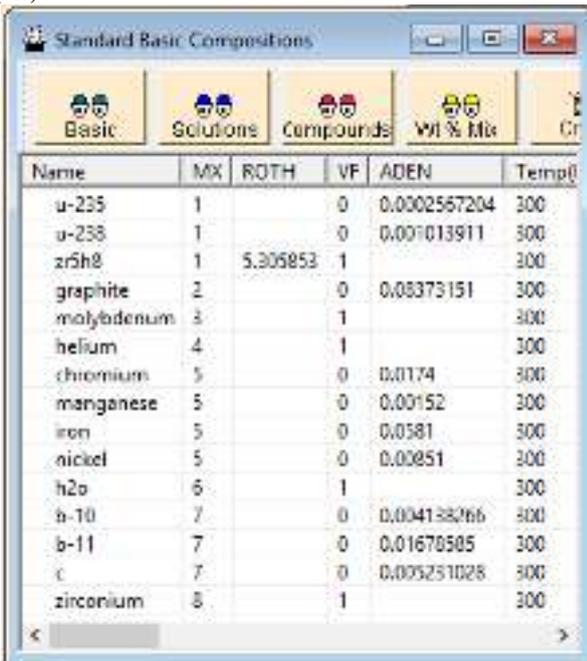
Terdapat dua tipe bahan bakar yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204. Saat ini ijin penggunaan bahan bakar yang diberikan oleh BAPETEN berjumlah 77 buah, terdiri dari 73 buah tipe 104 dan 4 buah tipe 204. Bahan bakar yang berada di teras reaktor 71 buah, terdiri dari 69 buah tipe 104 dan 2 buah tipe 204. Terdapat 4 buah tipe 104 di *bulk shielding* [3]. Monitoring reaktivitas diperlukan untuk mencegah akibat-akibat dari suatu penambahan/perubahan reaktivitas yang tidak diharapkan (*unexpected*) [4].

Sebelumnya sudah dilakukan simulasi menggunakan MCNP5. Hasil simulasi menunjukkan bahwa  $k$ -eff dari reaktor kartini dari file input yang disusun adalah  $0,99899 \pm 0,00030$ . Kondisi ini dicapai dengan menarik batang kendali pengaman 100%, batang kendali kompensasi 65% dan batang kendali pengatur 55% [5].

Dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Kartini dilakukan pengkajian mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan keselamatan reaktor. Salah satu aspek yang dikaji adalah aspek neutronik, untuk tahap awal kajian aspek neutronik, dibuat simulasi konservatif (*fresh fuel*) dengan menggunakan program komputer SCALE. Pada penelitian ini penulis hanya akan membahas mengenai reaktivitas lebih Reaktor Kartini.

## II. METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan paket program komputer SCALE, komponen dari reaktor kartini yang dimodelkan adalah: elemen bakar (pin bahan bakar), batang kendali, elemen *dummy*, reflektor, kolam reaktor (air).



Name	MX	ROTH	VF	ADEN	Temp
u-235	1		0	0.0002567204	300
u-238	1		0	0.001013911	300
zr5h8	1	5.305853	1		300
graphite	2		0	0.08373151	300
molybdenum	3		1		300
helium	4		1		300
chromium	5		0	0.0174	300
manganese	5		0	0.00152	300
iron	5		0	0.0581	300
nickel	5		0	0.00851	300
h2o	6		1		300
b-10	7		0	0.004138766	300
b-11	7		0	0.01670505	300
c	7		0	0.005251028	300
zirconium	8		1		300

Gambar 1. Komposisi Material [2] [6]

## Keterangan

MX (*mixture*):

1. U-ZrH<sub>1,6</sub>
2. Reflektor grafit
3. *Molybdenum disc (burnable poisson)*
4. Gas Helium
5. Stainless Steel
6. Air
7. Batang kendali (B<sub>4</sub>C)
8. *Zirconium rod.*

ROTH adalah densitas dalam g/cc

ADEN (*Atomic Density*) dalam satuan [atom/b-cm]

## Bahan Bakar

Terdapat dua tipe bahan bakar yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204.

### 1. Elemen Bakar tipe 104

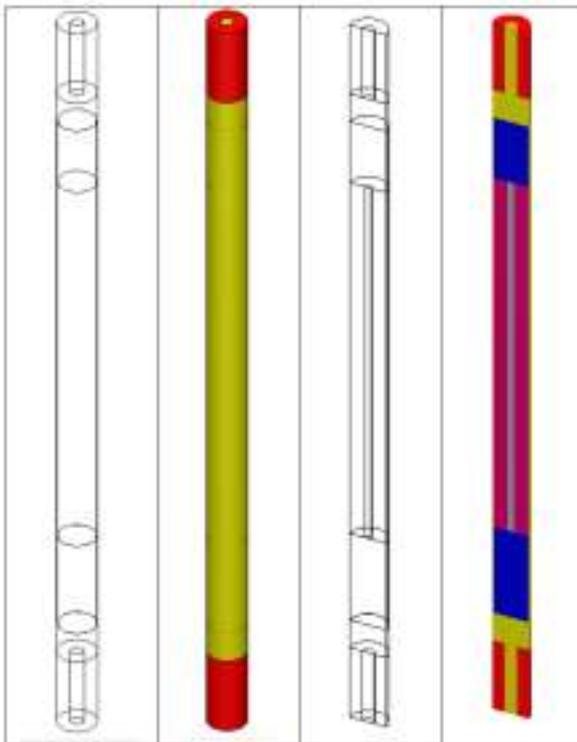
Bahan bakar yang digunakan adalah U-ZrH<sub>1,7</sub> dengan pengkayaan 20% berat U-235. Berat rerata U-235 per elemen adalah 38 gram, di dalam batang bahan bakar ditempatkan racun dapat bakar (*burnable poission*) berbentuk cakram (*disk*) Molybdenum yang dipasang pada ujung bawah bahan bakar aktif. Di bagian atas dan bawah terdapat reflektor grafit, terletak di atas dan bawah bahan bakar dengan diameter dan panjang sama.

### 2. Elemen bakar tipe 204

Elemen bakar 204 dilengkapi dengan 3 termokopel chromel-alumel, terletak pada sumbu dengan jarak masing-masing 2,54 cm, termokopel ke-2 terletak tepat pada titik pusat bahan bakar. Material bahan bakar tipe 204 sama dengan tipe 104, yaitu U-ZrH<sub>1,7</sub>.

Tabel 1. Spesifikasi elemen bakar [2]

panjang total	: 73,04 - 73,39 cm
panjang aktif	: 38,0 cm
panjang grafit	: 6,5 - 9,5 cm
diameter luar kelongsong	: 37 mm
diameter luar bahan bakar	: 35,60 mm
Tebal cakram racun dapat bakar (Mo)	: 0,127 cm
berat kandungan U-235	: 38 gram (avg)
material kelongsong	: SS-304
tebal kelongsong	: 0,50 mm
gap bahan bakar kelongsong	: 0,2 mm
titik leleh kelongsong	: 1453 °C
densitas UZrH	: 5,64 g/cc
komposisi zirkonium hidrida	: 1: 1,65
densitas Mo	: 10,2 g/cc



Gambar 2. Pemodelan Bahan Bakar

### Elemen Dummy

Reaktor Kartini mempunyai elemen bakar tiruan (*dummy*) yang ditempatkan pada ring F secara simetris. Bentuk dan ukuran elemen bakar tiruan sama dengan elemen bakar akan tetapi berisi grafit. Fungsi elemen bakar tiruan ini adalah untuk menaikkan efisiensi neutron di dalam teras (berfungsi sebagai reflektor). Pengisi kolom bahan bakar yang kosong di teras diberikan elemen dummy sebanyak 15 batang.



Gambar 3. Pemodelan Elemen Dummy

### Reflektor

Sebuah ring silinder dari grafit dipasang mengelilingi teras reaktor dan berfungsi sebagai reflektor neutron. Dimensi reflektor ini adalah diameter dalam 45,7 cm, tebal radial 30,5 cm dan tinggi 55,9 cm. Seluruh permukaan reflektor dilapisi aluminium untuk perlindungan terhadap air. Seluruh reflektor yang beratnya diperkirakan 770 kg

### Batang Kendali

Batang kendali terbuat dari bahan penyerap neutron, berfungsi untuk mengendalikan reaksi berantai di dalam reaktor, sehingga reaktor dapat dioperasikan pada tingkat daya yang diinginkan dan untuk pemadaman operasi (*shutdown*). Reaktivitas (negatif) dari batang kendali didisain selalu lebih besar dari reaktivitas (positif) dari bahan bakar yang berada di dalam teras reaktor [7].

Nilai reaktivitas dari batang kendali selain tergantung dari jenis material yang digunakan, juga tergantung dari beberapa faktor, seperti densitas, bentuk geometri, ukuran serta letak/posisi di dalam teras reaktor [8]

Reaktor dikendalikan dengan tiga buah batang kendali yang merupakan material penyerap neutron terbuat dari Boron Karbida ( $B_4C$ ). Ketiga batang kendali mempunyai fungsi masing-masing sebagai pengatur, kompensasi dan pengamanan.

Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown*. Fungsi batang kendali dibagi dalam tiga bagian yaitu batang pengatur (*regulating rod*), batang kompensasi (*shim rod*) dan batang pengamanan (*safety rod*) yang masing-masing dilakukan dengan menyisipkan batang dari bahan penyerap neutron kuat pada posisi tertentu di teras reaktor. Posisi tersebut adalah batang pengamanan menempati posisi di ring C-5, batang kompensasi menempati posisi ring C-9 dan batang pengatur menempati posisi ring E-1. Batang-batang kompensasi dan pengatur berupa tabung Aluminium berisi serbuk Boron Karbida ( $B_4C$ ), sedangkan batang pengamanan berisi grafit dan boral. Diameter batang kendali masing-masing adalah pengatur 2,2 cm, kompensasi 3,2 cm dan pengamanan 2,5 cm dengan panjang masing-masing adalah 51 cm. Konstruksi batang kendali dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Batang Kendali [2].

Kendali reaktivitas dilakukan dengan cara mengatur panjang penyisipan batang kendali di dalam teras. Panjang lintasan penyisipan seluruh batang kendali adalah 38 cm.

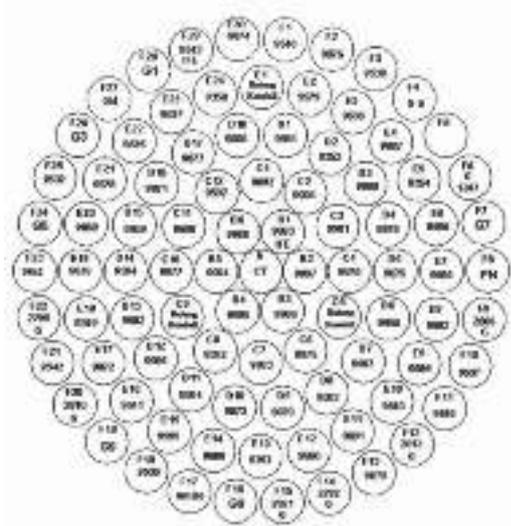
Tabel 2. Data Batang Kendali

Parameter	Peng-aman	Kompen-sasi	Peng-atur
Posisi di teras	C5	C9	E1
Panjang lintasan	38 cm	38 cm	38 cm
Diameter	2,5 cm	3,2 cm	2,2 cm
Jari-jari	1.25 cm	1.6 cm	1.1 cm
Panjang	50 cm	50 cm	50 cm
Material	Grafit dan Boral	$B_4C$	$B_4C$

### Teras Reaktor

Berikut data desain Reaktor Kartini dari Laporan Analisis Keselamatan (LAK):

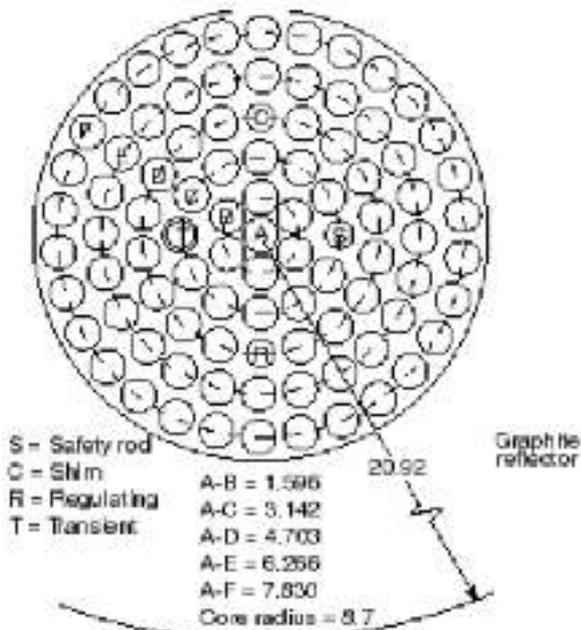
- Susunan teras dan reflektor mempunyai diameter 1,09 m dan tinggi 0,58 m.
- Teras dan reflektor terendam air setinggi 4,9 m.
- Bagian terbawah reflektor berada pada ketinggian 0,61 m dari dasar tangki.



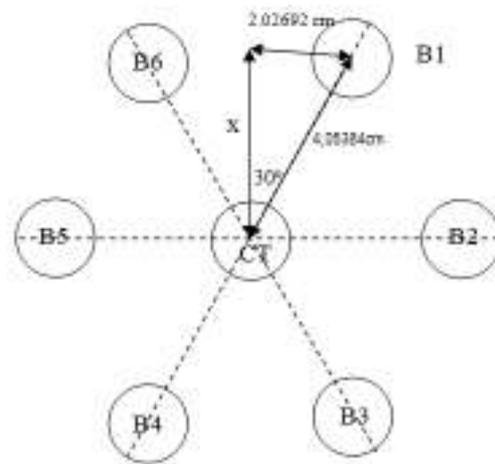
Gambar 5. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini [2].

Komposisi bahan bakar:

- Tipe 104, terdapat 67 buah
- Tipe 204, terdapat 2 buah



Gambar 6. Jari-jari ring A s.d F (dalam inch) [6].

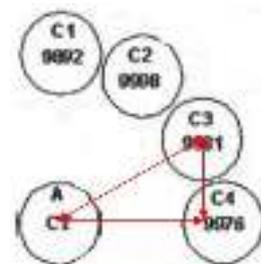


Gambar 7. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini di Ring A

$$\begin{aligned} \cos 30^\circ &= x / 4,05384 \\ x &= 4,05384 \cos 30^\circ \\ &= 3.5107 \text{ cm} \end{aligned}$$

Koordinat:

- B1 (2.02692 ; 3.5107; 0)
- B2 (4.05384; 0 ; 0)
- B3 (2.02692; -3.5107; 0)
- B4 (-2.02692; -3.5107; 0)
- B5 (-4.05384 ; 0 ; 0)
- B6 (-2.02692; 3.5107; 0)



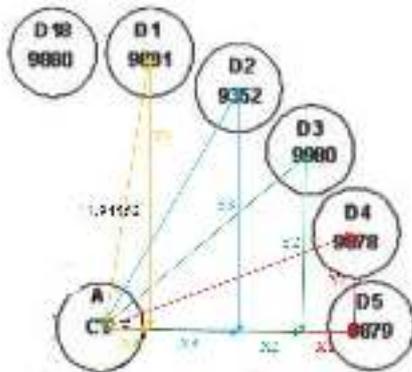
Gambar 8. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring C

Jari-jari ring C = 3.142 inch = 7.98068 cm

$$\begin{aligned} x &= 7.98068 \cos 30 = 6.91147162 \\ y &= 7.98068 \sin 30 = 3.99034000 \end{aligned}$$

Koordinat:

- C1 (0; 7.98068; 0)
- C2 (3.99034000; 6.91147162; 0)
- C3 (6.91147162; 3.99034000; 0)
- C4 (7.98068; 0; 0)
- C5 (6.91147162; -3.99034000; 0) → Batang Kendali
- C6 (3.99034000; -6.91147162; 0)
- C7 (0; -7.98068; 0)
- C8 (-3.99034000; -6.91147162; 0)
- C9 (-6.91147162; -3.99034000; 0) → Batang Kendali
- C10 (-7.98068; 0; 0)
- C11 (-6.91147162; 3.99034000; 0)
- C12 (-3.99034000; 6.91147162; 0)



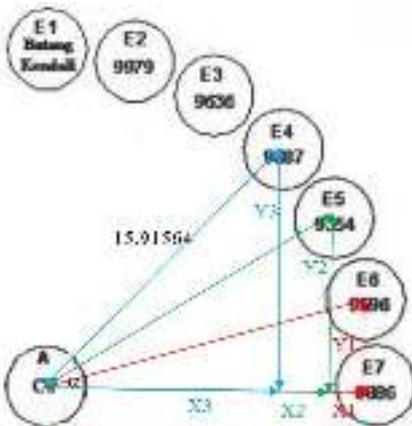
Gambar 9. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring D

Jari-jari Ring C = 4.703 inch = 11.94562 cm

$$\begin{aligned}
 X1 &= 11.94562 \cos 20 = 11.22521096 \\
 X2 &= 11.94562 \cos 40 = 9.15087582 \\
 X3 &= 11.94562 \cos 60 = 5.97281000 \\
 X4 &= 11.94562 \cos 80 = 2.07433514 \\
 Y1 &= 11.94562 \sin 20 = 4.08564266 \\
 Y2 &= 11.94562 \sin 40 = 7.67849653 \\
 Y3 &= 11.94562 \sin 60 = 10.34521038 \\
 Y4 &= 11.94562 \sin 80 = 11.76413919
 \end{aligned}$$

Koordinat:

- D1 (2.07433514; 11.76413919; 0)
- D2 (5.97281000; 10.34521038; 0)
- D3 (9.15087582; 7.67849653; 0)
- D4 (11.22521096; 4.08564266; 0)
- D5 (11.94562; 0; 0)
- D6 (11.22521096; -4.08564266; 0)
- D7 (9.15087582; -7.67849653; 0)
- D8 (5.97281000; -10.34521038; 0)
- D9 (2.07433514; -11.76413919; 0)
- D10 (-2.07433514; -11.76413919; 0)
- D11 (-5.97281000; -10.34521038; 0)
- D12 (-9.15087582; -7.67849653; 0)
- D13 (-11.22521096; -4.08564266; 0)
- D14 (-11.94562; 0; 0)
- D15 (-11.22521096; 4.08564266; 0)
- D16 (-9.15087582; 7.67849653; 0)
- D17 (-5.97281000; 10.34521038; 0)
- D18 (-2.07433514; 11.76413919; 0)



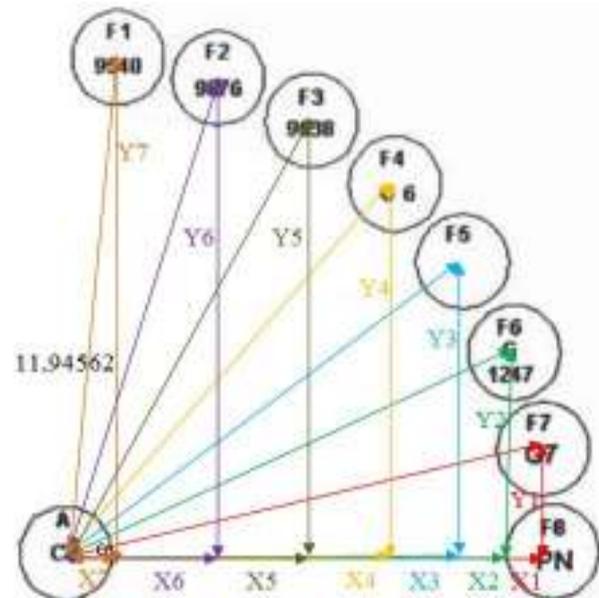
Gambar 10. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring E

Jari-jari Ring E = 6.266 inch = 15.91564 cm

$$\begin{aligned}
 X1 &= 15.91564 \cos 15 = 15.37332772 \\
 X2 &= 15.91564 \cos 30 = 13.78334856 \\
 X3 &= 15.91564 \cos 45 = 11.25405697 \\
 Y1 &= 15.91564 \sin 15 = 4.11927075 \\
 Y2 &= 15.91564 \sin 30 = 7.95782000 \\
 Y3 &= 15.91564 \sin 45 = 11.25405697
 \end{aligned}$$

Koordinat:

- E1 (0; 15.91564; 0) → Batang kendali
- E2 (4.11927075; 15.37332772; 0)
- E3 (7.95782000; 13.78334856; 0)
- E4 (11.25405697; 11.25405697; 0)
- E5 (13.78334856; 7.95782000; 0)
- E6 (15.37332772; 4.11927075; 0)
- E7 (15.91564; 0; 0)
- E8 (15.37332772; -4.11927075; 0)
- E9 (13.78334856; -7.95782000; 0)
- E10 (11.25405697; -11.25405697; 0)
- E11 (7.95782000; -13.78334856; 0)
- E12 (4.11927075; -15.37332772; 0)
- E13 (0; -15.91564; 0)
- E14 (-4.11927075; -15.37332772; 0)
- E15 (-7.95782000; -13.78334856; 0)
- E16 (-11.25405697; -11.25405697; 0)
- E17 (-13.78334856; -7.95782000; 0)
- E18 (-15.37332772; -4.11927075; 0)
- E19 (-15.91564; 0; 0)
- E20 (-15.37332772; 4.11927075; 0)
- E21 (-13.78334856; 7.95782000; 0)
- E22 (-11.25405697; 11.25405697; 0)
- E23 (-7.95782000; 13.78334856; 0)
- E24 (-4.11927075; 15.37332772; 0)



Gambar 11. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring F

Jari-jari Ring F = 7.830 inch = 19.8882 cm

$$\begin{aligned}
 X1 &= 19.8882 \cos 12 = 19.45359511 \\
 X2 &= 19.8882 \cos 24 = 18.16877477 \\
 X3 &= 19.8882 \cos 36 = 16.08989179
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X4 &= 19.8882 \cos 48 = 13.30780333 \\ X5 &= 19.8882 \cos 60 = 9.94410000 \\ X6 &= 19.8882 \cos 72 = 6.14579179 \\ X7 &= 19.8882 \cos 84 = 2.07888298 \end{aligned}$$

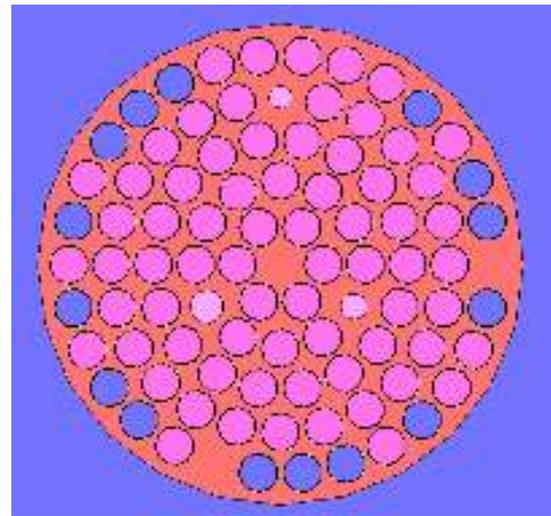
$$\begin{aligned} Y1 &= 19.8882 \sin 12 = 4.13498929 \\ Y2 &= 19.8882 \sin 24 = 8.08925970 \\ Y3 &= 19.8882 \sin 36 = 11.68999065 \\ Y4 &= 19.8882 \sin 48 = 14.77981292 \\ Y5 &= 19.8882 \sin 60 = 17.22368644 \\ Y6 &= 19.8882 \sin 72 = 18.91480221 \\ Y7 &= 19.8882 \sin 84 = 19.77925036 \end{aligned}$$

Koordinat:

$$\begin{aligned} F1 &(2.07888298; 19.77925036; 0) \\ F2 &(6.14579179; 18.91480221; 0) \\ F3 &(9.94410000; 17.22368644; 0) \\ F4 &(13.30780333; 14.77981292; 0) \\ F5 &(16.08989179; 11.68999065; 0) \\ F6 &(18.16877477; 8.08925970; 0) \\ F7 &(19.45359511; 4.13498929; 0) \\ F8 &(19.8882; 0; 0) \\ F9 &(19.45359511; -4.13498929; 0) \\ F10 &(18.16877477; -8.08925970; 0) \\ F11 &(16.08989179; -11.68999065; 0) \\ F12 &(13.30780333; -14.77981292; 0) \\ F13 &(9.94410000; -17.22368644; 0) \\ F14 &(6.14579179; -18.91480221; 0) \\ F15 &(2.07888298; -19.77925036; 0) \\ F16 &(-2.07888298; -19.77925036; 0) \\ F17 &(-6.14579179; -18.91480221; 0) \\ F18 &(-9.94410000; -17.22368644; 0) \\ F19 &(-13.30780333; -14.77981292; 0) \\ F20 &(-16.08989179; -11.68999065; 0) \\ F21 &(-18.16877477; -8.08925970; 0) \\ F22 &(-19.45359511; -4.13498929; 0) \\ F23 &(-19.8882; 0; 0) \\ F24 &(-19.45359511; 4.13498929; 0) \\ F25 &(-18.16877477; 8.08925970; 0) \\ F26 &(-16.08989179; 11.68999065; 0) \\ F27 &(-13.30780333; 14.77981292; 0) \\ F28 &(-9.94410000; 17.22368644; 0) \\ F29 &(-6.14579179; 18.91480221; 0) \\ F30 &(-2.07888298; 19.77925036; 0) \end{aligned}$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

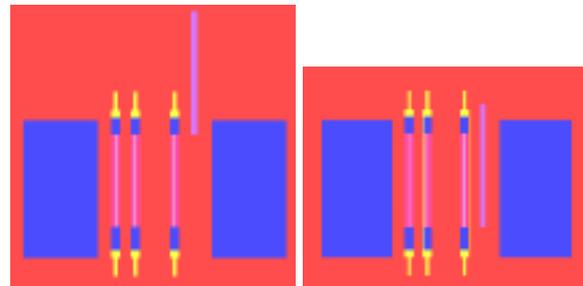
Berikut tampilan dari simulasi teras reaktor menggunakan program Scale 6.1 pada Gambar 12 :



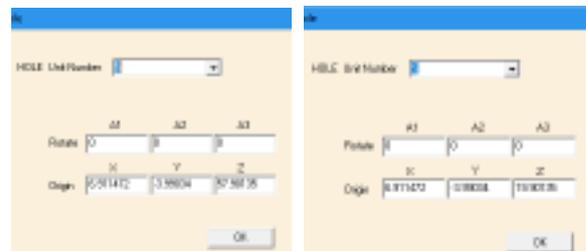
Gambar 12. Teras Reaktor Kartini

#### 4.1. Kritikalitas Reaktor

Berikut ditampilkan pemodelan menggunakan SCALE pada Gambar 13 dan gambar 14.



Gambar 13. Posisi batang kendali di atas / *fully up* (kiri) dan di bawah / *fully down* (kanan)



Gambar 14. Koordinat batang kendali *fully up* (kiri) dan *fully down* (kanan)

Pada NPG (*Neutron Per Generation*) = 1000 diperoleh hasil sebagai berikut:

- K-eff *fully up* ( $k_{fu}$ ) =  $1.0328 \pm 0.0018$
- K-eff *fully down* ( $k_{fd}$ ) =  $0.9783 \pm 0.0017$ .

Reaktor super kritis pada saat *fully up* dan sub kritis pada saat *fully down*. Hal ini menunjukkan bahwa 3 batang kendali dapat digunakan untuk memadamkan reaktor.

#### 4.2. Reaktivitas Lebih

Reaktivitas lebih adalah surplus reaktivitas dari yang dibutuhkan untuk mencapai kekritisan, di dalam teras reaktor (dengan menggunakan bahan bakar ekstra) untuk mengkompensasi fraksi bakar/*burnup* bahan bakar dan akumulasi racun produk fisi selama operasi.

Dalam simulasi perhitungan reaktivitas lebih ini digunakan bahan bakar baru (*fresh fuel*), kondisi ini

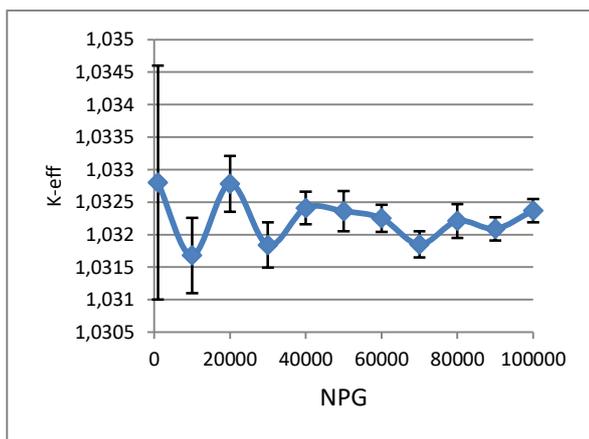
merupakan kondisi konservatif, dimana nilai reaktivitas lebih dari teras reaktor adalah:

$$L_{\text{excess}} = (k_{\text{fu}} - 1) / k_{\text{fu}}$$

Pada perhitungan berikutnya dilakukan variasi nilai NPG (*Neutron Per Generation*), diperoleh hasil sebagai berikut:

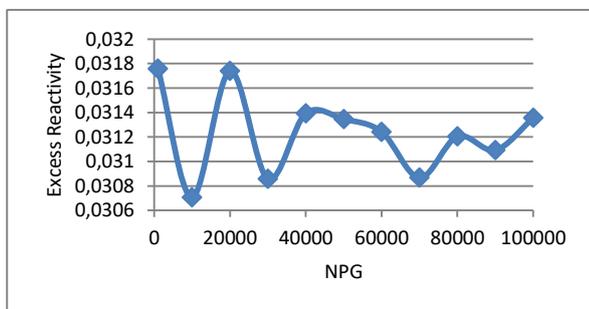
**Tabel 3.** Nilai k-eff dan *Excess Reactivity* pada berbagai nilai NPG

NPG	k-eff	$L_{\text{excess}}$
1000	1.0328 ± 0.0018	0.0317583
10000	1.03168 ± 0.00058	0.0307072
20000	1.03278 ± 0.00043	0.0317396
30000	1.03184 ± 0.00035	0.0308575
40000	1.03241 ± 0.00025	0.0313926
50000	1.03236 ± 0.00031	0.0313457
60000	1.03225 ± 0.00021	0.0312424
70000	1.03185 ± 0.0002	0.0308669
80000	1.03221 ± 0.00026	0.0312049
90000	1.03209 ± 0.00018	0.0310922
100000	1.03237 ± 0.00018	0.031355



**Gambar 16.** K-eff vs NPG

Pada Gambar 15 dengan variasi nilai NPG (*Neutron Per Generation*), dapat dilihat bahwa peningkatan nilai NPG akan memperkecil nilai standar deviasi.



**Gambar 16.** Excess Reactivity vs NPG

Pada Tabel 3 dan Gambar 16 dapat dilihat bahwa pada NPG = 100000 diperoleh nilai reaktivitas lebih dari teras reaktor ( $L_{\text{excess}}$ ) adalah 3.1355 % dk/k

#### IV. KESIMPULAN

Dalam simulasi perhitungan reaktivitas lebih menggunakan program SCALE digunakan bahan bakar baru (*fresh fuel*), kondisi ini merupakan kondisi konservatif, kriticalitas pada saat *fully up* adalah  $1.03237 \pm 0.00018$ . Nilai reaktivitas lebih dari teras reaktor ( $L_{\text{excess}}$ ) adalah 3.1355 % dk/k. Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown*. Fungsi batang kendali dibagi dalam tiga bagian yaitu batang pengatur (*regulating rod*) batang kompensasi (*shim rod*) dan batang pengaman (*safety rod*) yang masing-masing dilakukan dengan menyisipkan batang dari bahan penyerap neutron kuat pada posisi tertentu di teras reaktor. Reaktor super kritis pada saat *fully up* dan sub kritis pada saat *fully down*. Hal ini menunjukkan bahwa 3 batang kendali dapat digunakan untuk memadamkan reaktor.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Agus Waluyo, ST, MT dan Dwi Cahyadi, ST, M.Eng yang telah memfasilitasi penelitian ini menggunakan Program SCALE di Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rohman B, Widarto (2009) *Kajian Pengaruh Kerapatan Moderator terhadap Reaktivitas Reaktor Kartini*, Prosiding PPI – PDIPTN Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional (2008) *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini Rev.7*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN, Yogyakarta.
- [3] Badan Tenaga Nuklir Nasional (2017) *Laporan penggunaan bahan bakar reaktor Kartini*, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN, Yogyakarta.
- [4] Sardjono Y, Widi Setiawan (2003) *Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali Reaktor Kartini dengan DSP-56001 Motorola*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- [5] Fadli O E, Riyatun, Suharyana (2015) *Simulasi Numerik Spektrum Neutron Pada Empat Beamport Reaktor Karini dengan MCNP5 Guna Pemanfaatannya sebagai Saluran Pemandu Berkas Neutron pada BNCT*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY, Yogyakarta
- [6] Ravnik, M., *Description of TRIGA Reactor* ([www.rcp.ijs.si/ric/descriptiona.html](http://www.rcp.ijs.si/ric/descriptiona.html)).
- [7] Sutondo T (2010) *Analisis Pengaruh Pengoperasian Terhadap Kemampuan Shutdown Batang Kendali pada Reaktor Kartini*, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- [8] Sutondo T, Nita Yulianti (2006) *Analisis Batas Reaktivitas Sampel Eksperimen pada Reaktor Kartini*, Prosiding PPI – PDIPTN 2006 Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.



## KARAKTERISTIK NEUTRONIK SISTEM SAMOP (SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR MO-99 PRODUCTION)

Azizul Khakim<sup>1</sup>, Syarip<sup>2</sup>, Suharyana<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

<sup>2</sup> Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA)-BATAN

<sup>3</sup> Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Universitas Sebelas Maret

e-mail: a.khakim@bapeten.go.id

### ABSTRAK

SAMOP (*Sub-critical Assembly for Mo-99 Production*) merupakan sistem larutan subkritis yang ditujukan untuk menghasilkan isotop Mo-99 melalui proses reaksi fisi. Agar proses fisi berlangsung secara terus-menerus pada sistem subkritis, maka ditambahkan sumber neutron dari luar sistem tersebut, yang berasal dari salah satu beam port reaktor Kartini. Sistem ini dipastikan harus selalu dalam kondisi subkritis dalam kondisi apa pun dengan margin yang cukup memadai. Hal-hal yang menyebabkan perubahan reaktivitas harus diidentifikasi seperti perubahan konsentrasi larutan bahan bakar, baik karena kebocoran, penguapan maupun pemanasan. Sistem code MCNP dan MVP digunakan untuk menganalisis karakteristik neutronik SAMOP. Makalah ini bertujuan untuk menentukan karakteristik neutronik sistem SAMOP seperti rentang *under-moderated*, konsentrasi uranium dan jumlah tabung larutan atau bahan bakar TRIGA yang boleh masuk ke lubang periferal agar tetap subkritis dalam kondisi apapun. Dari hasil perhitungan, densitas uranium nominal yang sesuai adalah 300 gU/l.

**Kata kunci:** Subkritis, Isotop Mo-99, Karakteristik neutronik, Larutan Bahan bakar.

### ABSTRACT

SAMOP (*Sub-critical Assembly for Mo-99 Production*) is a system of sub-critical solution which is aimed at producing isotope Mo-99 through a process of fission reaction. In order to sustain the fission process of the sub-critical system, additional neutron source is incorporated which comes from one of the Kartini reactor beam ports. The system shall ensure the sub-critical state at any condition with adequate margin. Any conditions or events that could lead to reactivity change have to be identified, such as change in fuel solution concentration, either due to leakage, evaporation or heating process. System code of MCNP and MVP were used to analyze the neutronic characteristics of SAMOP. The analysis was intended to determine the neutronic characteristics of SAMOP system, such as under-moderated range, uranium concentration and the allowable number of solution tubes or TRIGA fuels inserted into peripheral holes to keep the core subcritical at any condition. From the calculations, the preferable nominal uranium density is 300 gU/l.

**Keywords:** Sub-critical, Isotope Mo-99, Neutronic characteristics, Fuel solution.

## I. PENDAHULUAN

Nuklir medis telah banyak mengandalkan  $Tc^{99m}$  dan induknya  $Mo^{99}$  untuk keperluan diagnosis sejak dikembangkan di Brookhaven National Laboratory Amerika pada 1964<sup>[1]</sup>. Kebutuhan dunia saat ini sekitar 9000 6-day Ci/minggu dengan kontributor pemasok utama adalah *National Research Universal* (NRU) Kanada 40 %, *High Flux Reactor* (HFR) Belanda 25 %, *Reactor 2* Belgia 20 % dan sisanya sebesar 15 % disumbang oleh beberapa fasilitas/reaktor<sup>[2]</sup>.

Pada 6 Februari 2015, Pemerintah Kanada mengumumkan penundaan pemberhentian NRU dan mengusulkan untuk mengoperasikan reaktor NRU sebagai “*supplier of last resort*” dari 1 November 2016 hingga 31 Maret 2018. Reaktor NRU dan fasilitas pemrosesan terkaitnya akan memproduksi  $Mo^{99}$  pada kondisi khusus, yaitu jika terjadi kekurangan yang signifikan di pasar global. Dengan demikian ada jaminan kapasitas produksi untuk memenuhi kebutuhan

pasar global hingga pertengahan tahun 2018. Perlu ada alternatif teknologi atau sumber suplai yang lain untuk memenuhi permintaan setelah pertengahan 2018<sup>[3]</sup>.

Secara umum ada dua teknik yang biasanya dipakai untuk produksi  $Mo^{99}$ , yaitu aktivasi neutron terhadap  $Mo^{98}$  yang berasal dari alam dan proses fisi dari  $U^{235}$  yang memiliki hasil fisi  $Mo^{99}$  sebesar 6 %. Produksi  $Mo^{99}$  melalui reaksi fisi telah menjadi metode yang paling umum karena menghasilkan aktivitas jenis (aktivitas per satuan massa) yang sangat tinggi.  $Mo^{99}$  yang diproduksi dengan menggunakan proses fisi, maka  $U^{235}$  target ditempatkan pada posisi iradiasi di reaktor non daya. Metode lain adalah dengan membangun reaktor berbahan bakar larutan uranium (*Aqueous Homogeneous Reactor / AHR*), di mana  $Mo^{99}$  diekstrak dari larutan bahan bakar yang telah mengalami fisi. Di samping itu, tangki larutan yang mengandung  $U^{235}$  dapat digunakan sebagai sistem subkritis dengan dibantu interaksi akselerator. Teknik lain yang masih

dalam tahap studi adalah pemindahan satu neutron dari  $\text{Mo}^{100}$  stabil<sup>[2]</sup>.

Teknologi yang memanfaatkan sistem larutan subkritis dengan dibantu akselerator adalah SHINE (*subcritical hybrid intense neutron emitter*). Sistem ini mampu memproduksi  $\text{Mo}^{99}$  dengan kapasitas 4000 6-day Ci/minggu yang diperkirakan bisa beroperasi penuh pada tahun 2020<sup>[3]</sup>. Sistem ini menggabungkan dua kelebihan dari reaktor homogen cair (AHR) dan akselerator. Akselerator umumnya sangat aman dan stabil untuk produksi radioisotop, tetapi kurang dari sisi *yield* dan aktivitas jenis (Ci/g)  $\text{Mo}^{99}$  yang dihasilkan. Sementara AHR memberikan *yield* dan aktivitas jenis yang tinggi, di samping kemudahan proses ekstraksi ketimbang target solid, tetapi mengalami fluktuasi tingkat daya akibat void, efek kimia dan temperatur yang berimbas pada masalah pengendalian. Pada SHINE, perubahan daya akibat efek void, kimia dan temperatur relatif kecil karena sistem subkritis, namun diperoleh *yield* dan aktivitas jenis yang tinggi. Akselerator deuterium menumbuk tritium yang menyebabkan reaksi fusi yang menghasilkan neutron sebesar  $10^{13}$  n/s<sup>[4]</sup>.

SAMOP (*Subcritical Assembly for  $\text{Mo}^{99}$  Production*) adalah juga sistem sub kritis yang memanfaatkan sumber neutron dari *beam port* reaktor Kartini untuk melangsungkan reaksi fisi pada larutan uranium. Untuk mengetahui tingkat keselamatan sistem ini, maka perlu dilakukan analisis karakteristik neutronik. Makalah ini bertujuan untuk menentukan karakteristik neutronik sistem SAMOP seperti rentang *under-moderated*, konsentrasi uranium dan jumlah tabung larutan atau bahan bakar TRIGA yang boleh masuk ke lubang periferil.

## II. METODOLOGI

### Larutan Bahan Bakar

Ada dua jenis larutan yang biasa dipertimbangkan sebagai bahan bakar, yaitu uranil sulfat ( $\text{UO}_2\text{SO}_4$ ) dan uranil nitrat ( $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ). Keduanya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Kelebihan uranil sulfat utamanya adalah hanya  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  yang dihasilkan oleh proses radiolisis. Sedangkan kekurangan dari uranil sulfat terkait dengan sifat kimiawi dari sulfat dan garamnya, khususnya:

- Ekstraksi molybdenum dari larutan sulfat kurang efisien dibanding larutan nitrat.
- Kelarutan garam sulfat umumnya lebih rendah dari pada garam nitrat.

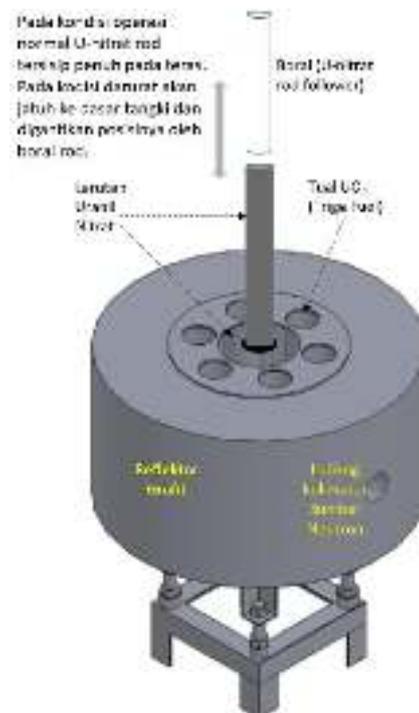
Uranil nitrat lebih mudah dalam preparasi dari pada uranil sulfat<sup>[5]</sup>.

Larutan uranil nitrat memiliki sifat kimia yang lebih superior terhadap larutan uranil sulfat. Namun dekomposisi radiolisis larutan uranil nitrat jauh lebih kompleks dari pada garam sulfat. Di samping  $\text{H}_2$  dan  $\text{O}_2$  yang berasal dari radiolisis air, juga terbentuk nitrogen dan gas oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) dari dekomposisi larutan uranil nitrat<sup>[6]</sup>.

Dengan kenyataan bahwa SAMOP memiliki daya yang cukup rendah, sehingga produk dari radiolisis tidak signifikan, maka larutan uranil nitrat dipilih sebagai bahan bakar.

### Sistem SAMOP

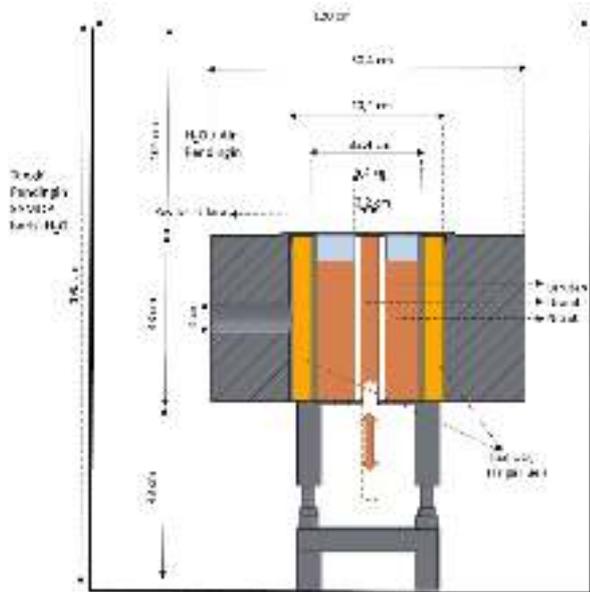
Sistem SAMOP merupakan larutan bahan bakar dari larutan uranium nitrat ( $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ) yang dimasukkan dalam tabung yang dikelilingi dengan reflektor grafit. Sistem SAMOP bersifat subkritis, sehingga tidak dapat melangsungkan reaksi fisi secara berkesinambungan. Agar reaksi fisi tetap berlangsung, maka diperlukan sumber neutron dari luar. Sumber neutron eksternal yang ditambahkan pada sistem SAMOP adalah neutron yang berasal dari reaktor Kartini melalui saluran *beam port*.



Gambar 1. Teras 3D SAMOP

Gambar 1 menunjukkan teras 3D yang terdiri dari tabung pusat yang dikelilingi oleh air. Di luar air terdapat tabung annular yang berisi larutan bahan bakar uranil nitrat dengan komposisi yang sama. Di sisi periferil terdapat enam lubang yang bisa diisi oleh tabung dengan larutan yang sama atau bisa juga diisi dengan elemen bahan bakar standar TRIGA Kartini. Enam (6) lubang periferil ini berfungsi sebagai pengatur faktor perlipatan neutron ( $k_{eff}$ ) nominal. Target faktor perlipatan neutron ( $k_{eff}$ ) diatur dengan penyisipan jumlah maupun jenis bahan bakar pada posisi periferil. Bahan bakar standar TRIGA cenderung memberikan tambahan nilai  $k_{eff}$  yang lebih tinggi dibanding dengan tabung larutan UN. Namun  $\text{Mo}^{99}$  dari proses fisi di daerah periferil tidak bisa diekstrak. Opsi ini dipilih jika ke-6 tabung larutan uranium nitrat tidak mampu meningkatkan  $k_{eff}$  yang ditargetkan. Jika hasil  $\text{Mo}^{99}$  di sisi periferil juga akan diekstrak, maka opsi penggunaan tabung larutan uranium yang akan dipilih. Tabung larutan uranil nitrat di pusat bagian atasnya terhubung dengan batang kendali yang terbuat dari boral. Ketika operasi normal, larutan bahan bakar berada sejajar dengan larutan bahan bakar annular. Sedang pada saat shut down, batang boral yang menempati posisi tinggi teras SAMOP, dan larutan uranil pusat berada di posisi bawah teras. Sistem larutan ini dikelilingi oleh grafit

yang berfungsi sebagai reflektor neutron. Pada bagian reflektor grafit terdapat lubang kolimator yang menghubungkan teras SAMOP dengan *beam port* reaktor Kartini (Gambar 2).



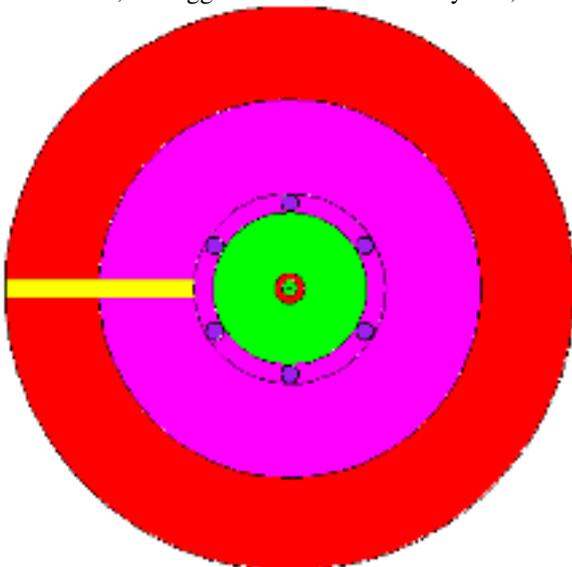
Gambar 2. Tampak vertikal SAMOP dalam tangki

Sistem SAMOP terendam dalam air dalam tangki setinggi 190 cm yang berfungsi sebagai pendingin dengan mode sirkulasi alam. Dimensi lengkap sistem SAMOP dapat dilihat pada Gambar 2.

#### Model Geometri dengan MCNP Code

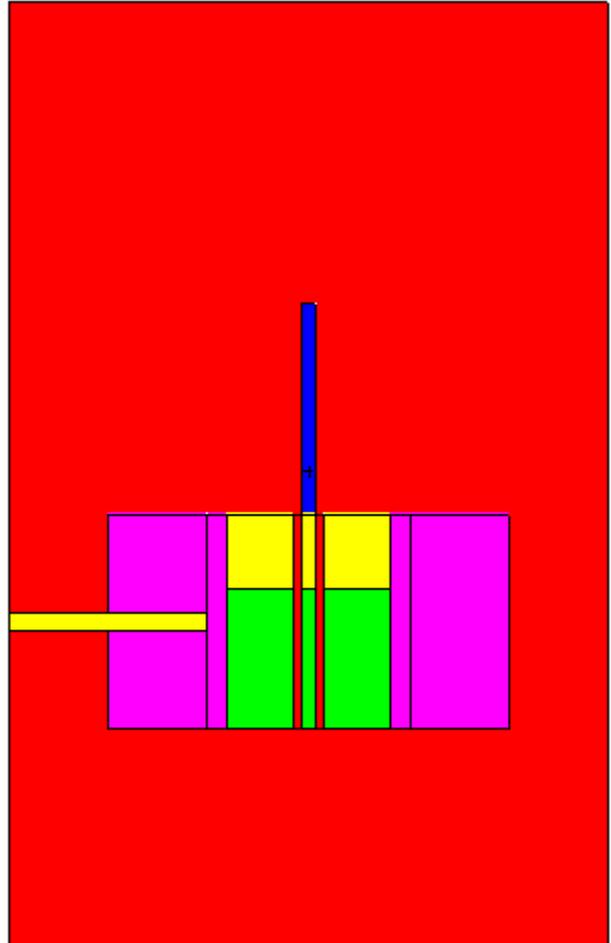
Model geometri SAMOP berupa tangki yang diisi dengan teras SAMOP direndam dalam air setinggi 190 cm. Teras SAMOP dikelilingi oleh reflektor grafit dengan tebal 20 cm. Ruang di luar tangki diperlakukan sebagai dunia luar, di mana neutron akan dianggap hilang ketika melewati ruang tersebut.

Tabung silinder pusat diisi larutan uranil nitrat (warna hijau) dengan volume  $226 \text{ cm}^3$ , sedangkan tabung annular diisi larutan yang sama dengan volume  $22382 \text{ cm}^3$ , sehingga total volume keduanya  $22,6 \text{ liter}$ .



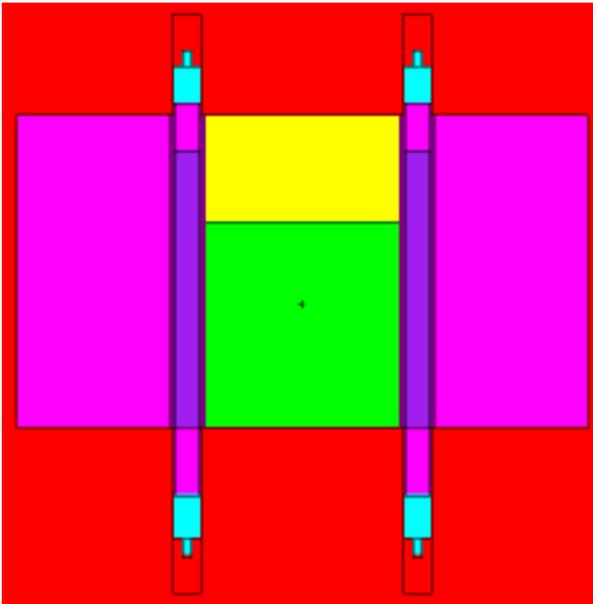
Gambar 3. Teras SAMOP dimana 6 lubang periferal diisi bahan bakar TRIGA

Gambar 3 menunjukkan tampang lintang teras SAMOP yang dipotong pada level kolimator yang berupa ruang hampa (warna kuning). Antara tabung uranil nitrat pusat dan tabung annular terdapat celah yang berisi air (warna merah). Enam lubang periferal pada Gambar 3 diisi oleh bahan bakar standar TRIGA reaktor Kartini.



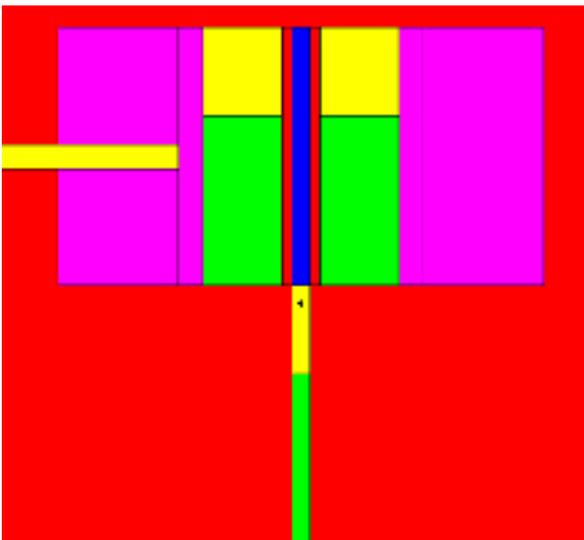
Gambar 4. Mode operasi dengan batang kendali ditarik dari teras

Gambar 4 menunjukkan tampang lintang vertikal teras SAMOP pada kondisi operasi normal dengan posisi batang kendali ditarik ke luar dari teras. Dengan volume larutan bahan bakar pusat dan annular seperti disebutkan diatas, maka ketinggian larutan hampir sama.



**Gambar 5.** Geometri bahan bakar TRIGA sebagai pengisi 6 lubang periferil

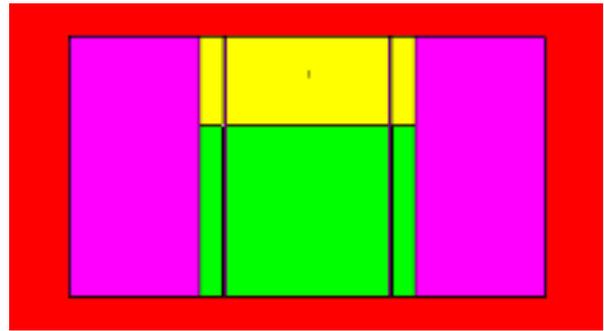
Gambar 5 memperlihatkan bahan bakar standar TRIGA reaktor Kartini yang mengisi enam lubang periferil. Bahan bakar TRIGA terbuat dari material UZrH dengan tinggi aktif 38,1 cm. Pengkayaan bahan bakar TRIGA adalah 19,75 %  $U^{235}$ . Dari total berat berat UZrH, berat uranium 8 %, berat zirkonium 91 % dan hidrogen 1 %. bahan bakar ini dibungkus dengan kelongsong stainless steel dengan tebal 0,5 mm yang membentuk diameter luar silinder bahan bakar 3,73 cm. Di bagian atas bahan bakar dipasang reflektor grafit dengan tinggi 6,6 cm, sedangkan reflektor bawah setinggi 9,39 cm dengan diameter sama dengan diameter luar kelongsong bahan bakar. Di bagian paling atas dan bawah dipasang penutup yang juga masing-masing berfungsi sebagai *handling* dan *fitting*.



**Gambar 6.** Mode *shutdown* di mana batang kendali disisipkan ke dalam teras

Gambar 6 menunjukkan posisi batang kendali ketika *shutdown*, di mana material boron (warna biru) menyisip ke dalam teras SAMOP, sementara tabung

*follower* larutan uranil nitrat berada pada posisi di bawah teras.



**Gambar 7.** Tabung larutan bahan bakar pengisi 6 lubang periferil

Gambar 7 menunjukkan lubang periferil yang diisi tabung larutan uranil nitrat. Di bagian atas dari tabung annular yang periferil, maupun tabung pusat terdapat kavitasasi yang berfungsi untuk menampung gas produk fisi, uap air dan gas hasil hidrolisis.

#### Perhitungan Komposisi Larutan

Jika larutan  $UO_2(NO_3)_2$  (uranil nitrat) memiliki densitas uranium  $\rho_U$  gU/l dengan pengkayaan  $r$ . Anggap terdapat  $V_{sol}$  liter larutan, maka akan terdapat massa uranium ( $m_U$ ) sebanyak:

$$m_U = \rho_U \cdot V_{sol} \quad (1)$$

Massa  $U^{235}$  adalah:

$$m_{U^{235}} = r \cdot m_U \quad (2)$$

Dan massa  $U^{238}$  adalah:

$$m_{U^{238}} = (1 - r) m_U \quad (3)$$

Massa relatif ( $mr$ ) uranium dihitung dengan:

$$mr_U = mr_{U^{235}} \cdot r + mr_{U^{238}} (1 - r) \quad (4)$$

Dengan demikian banyaknya mol uranium adalah:

$$mol_U = \frac{m_U}{mr_U} \quad (5)$$

Jika terdapat 1 mol Uranium, maka dalam senyawa  $UO_2(NO_3)_2$  akan terdapat 2 mol Nitrogen. Sehingga massa Nitrogen:

$$m_N = 2 \cdot mol_U \cdot mr_N \quad (6)$$

Jika terdapat 1 mol Uranium, maka dalam senyawa  $UO_2(NO_3)_2$  akan terdapat 8 mol Oksigen. Sehingga massa Oksigen dalam senyawa uranil nitrat tersebut adalah:

$$m_{O_N} = 8 \cdot mol_U \cdot mr_O \quad (7)$$

Dengan demikian, massa uranil nitrat merupakan jumlahan dari unsur-unsur penyusunnya:

$$m_{UN} = m_U + m_N + m_{O_{UN}} \quad (8)$$

Volume senyawa uranil nitrat adalah:

$$V_{UN} = \frac{m_{UN}}{\rho_{UN}} \quad (9)$$

Volume air (H<sub>2</sub>O) dalam larutan tersebut adalah:

$$V_{H_2O} = V_{sol} - V_{UN} \quad (10)$$

Sehingga massa H<sub>2</sub>O dapat dihitung dengan:

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} \cdot V_{H_2O} \quad (11)$$

Massa relatif H<sub>2</sub>O dihitung dengan:

$$mr_{H_2O} = 2mr_H + mr_O \quad (12)$$

Sedangkan mol H<sub>2</sub>O dihitung dengan:

$$mol_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{mr_{H_2O}} \quad (13)$$

Dalam 1 mol H<sub>2</sub>O akan terdapat 2 mol hidrogen dan 1 mol oksigen, sehingga massa hidrogen dihitung dengan:

$$m_H = 2mol_{H_2O} \cdot mr_H \quad (14)$$

Sedang massa oksigen yang ada dalam air adalah:

$$m_{O_{wtr}} = mol_{H_2O} \cdot mr_O \quad (15)$$

Total massa oksigen adalah jumlahan massa oksigen dari uranil nitrat (Persamaan (7)) dan dari air (Persamaan (15)):

$$m_O = m_{O_{UN}} + m_{O_{wtr}} \quad (16)$$

Total massa larutan adalah jumlahan unsur-unsur penyusunnya, yaitu uranium, nitrogen, hidrogen dan oksigen:

$$m_{sol} = m_U + m_N + m_H + m_O \quad (17)$$

Densitas massa (dalam g/cm<sup>3</sup>) dari larutan uranium nitrat adalah:

$$\rho_{sol} = \frac{m_{sol}}{V_{sol}} \quad (18)$$

Sedangkan densitas atom suatu unsur *i* (dalam atom/barn.cm) dihitung dengan:

$$\rho_i^{atom} = \frac{m_i}{mr_i} \frac{1}{V_{sol}} \frac{Avo}{10^{24}} \quad (19)$$

Di mana *avo* adalah bilangan avogadro yang besarnya 6,022×10<sup>23</sup> partikel/mol.

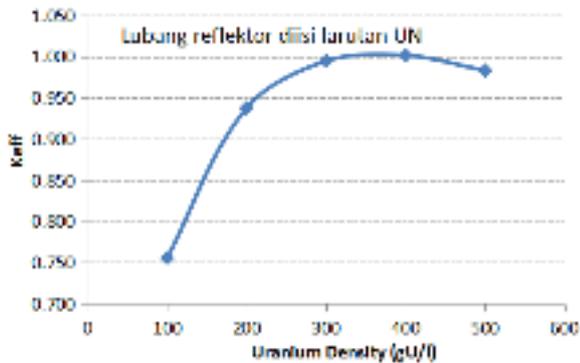
Dengan kenyataan bahwa senyawa Uranil Nitrat memiliki densitas ( $\rho_{UN}$ ) sebesar 2,087 g/cm<sup>3</sup> dan pengkayaan U<sup>235</sup> 19,75% maka dengan menggunakan Pers. (1) hingga Pers. (19) kita dapat menghitung komposisi unsur-unsur penyusunnya dan juga densitas massa larutan maupun densitas atom unsur-unsur tersebut untuk berbagai densitas uranium, seperti tertera pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi unsur penyusun larutan uranil nitrat pada berbagai densitas uranium

Unsur	Densitas Uranium (gU/l)									
	100		200		300		400		500	
	Dens. atom (at/cm.barn)	Dens. massa (g/l)								
U <sup>235</sup>	5,060E-05	19,75	1,012E-04	39,50	1,518E-04	59,25	2,024E-04	79,00	2,530E-04	98,75
U <sup>238</sup>	2,030E-04	80,25	4,060E-04	160,50	6,090E-04	240,75	8,121E-04	321,00	1,015E-03	401,25
N	5,072E-04	11,79	1,014E-03	23,59	1,522E-03	35,38	2,029E-03	47,18	2,536E-03	58,97
O	3,275E-02	870,00	3,214E-02	853,51	3,151E-02	837,02	3,089E-02	820,53	3,027E-02	804,04
H	6,145E-02	102,84	5,615E-02	93,98	5,086E-02	85,11	4,556E-02	76,24	4,026E-02	67,37
Densitas larutan (g/l)		1,085×10 <sup>3</sup>		1,171×10 <sup>3</sup>		1,258×10 <sup>3</sup>		1,344×10 <sup>3</sup>		1,430×10 <sup>3</sup>

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

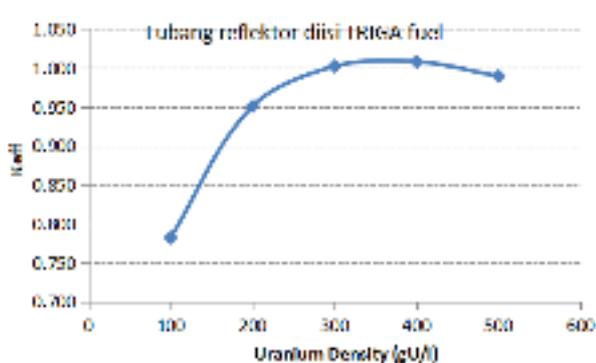
Perhitungan dengan MCNP5<sup>[7]</sup> dilakukan untuk menentukan parameter neutronik, khususnya faktor perlipatan neutron  $k_{eff}$ . Untuk menentukan konsentrasi uranium maksimum yang masih berada dalam rentang *under-moderated* dihitung  $k_{eff}$  untuk berbagai konsentrasi uranium mulai 100 - 500 gU/l.



**Gambar 8.** Perubahan  $k_{eff}$  pada berbagai konsentrasi uranium dengan larutan bahan bakar sebagai pengisi lubang perifer

Gambar 8 menunjukkan perubahan  $k_{eff}$  untuk berbagai densitas uranium pada larutan bahan bakar. Pencarian konsentrasi uranium yang diinginkan dihitung mulai dari 100 gU/l hingga 500 gU/l. Pada kasus tersebut, enam lubang pada bagian perifer reflektor diisi dengan tabung berisi larutan bahan bakar uranil nitrat dengan komposisi dan tinggi yang sama dengan yang ada di pusat dan tabung annular, seperti geometri yang ditunjukkan pada Gambar 7.

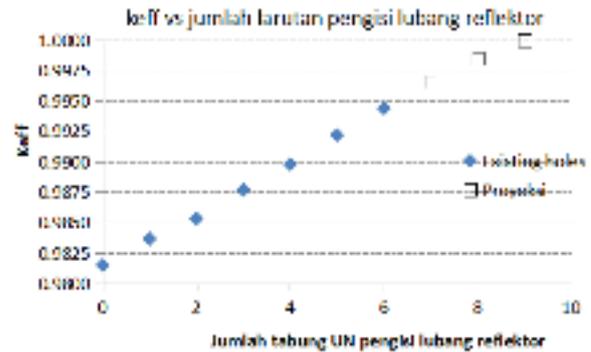
Harga  $k_{eff}$  meningkat seiring dengan kenaikan densitas uranium hingga 350 gU/l. Kemudian mengalami penurunan dengan naiknya densitas Uranium. Rentang di mana  $k_{eff}$  naik dengan naiknya densitas uranium disebut daerah *under-moderated*. Dan sebaliknya rentang di mana  $k_{eff}$  turun dengan naiknya densitas uranium disebut daerah *over-moderated*.



**Gambar 9.** Perubahan  $k_{eff}$  pada berbagai konsentrasi uranium dengan bahan bakar TRIGA sebagai pengisi lubang perifer

Gambar 9 menunjukkan perubahan  $k_{eff}$  untuk berbagai densitas uranium pada larutan bahan bakar, di mana enam lubang perifer diisi dengan bahan bakar segar TRIGA reaktor Kartini. Dari gambar tersebut juga terlihat bahwa harga  $k_{eff}$  maksimum tercapai pada densitas uranium 350 gU/l.

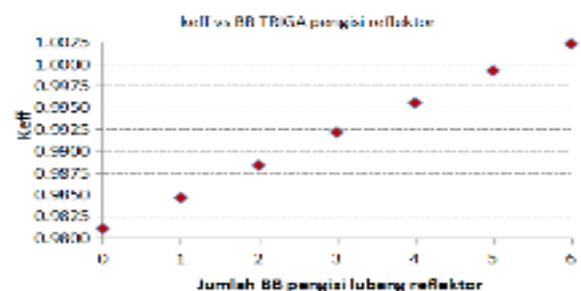
Dari sisi keselamatan, daerah *under-moderated* lebih dipilih, karena memiliki karakteristik *self-controlling* (dapat mengendalikan dengan sendirinya) ketika terjadi penurunan densitas uranium, baik karena kecelakaan yang mengarah pada pendidihan atau kebocoran tabung. Dengan kata lain, jika terjadi kecelakaan yang mengakibatkan pendidihan (penurunan konsentrasi), maka reaktivitas sistem SAMOP akan turun, sehingga menghindari terjadinya kecelakaan kekritisan. Dengan demikian, densitas uranium 300 gU/l dipilih sebagai densitas nominal untuk operasi.



**Gambar 10.** Harga  $k_{eff}$  pada beberapa jumlah tabung larutan di perifer

Gambar 10 menunjukkan harga  $k_{eff}$  di mana lubang perifer reflektor diisi dengan berbagai jumlah tabung larutan uranium nitrat dengan konsentrasi uranium yang sama, yaitu 300 gU/l. Tabung perifer diisi dengan ketinggian larutan yang sama dengan tabung pusat dan tabung annular.

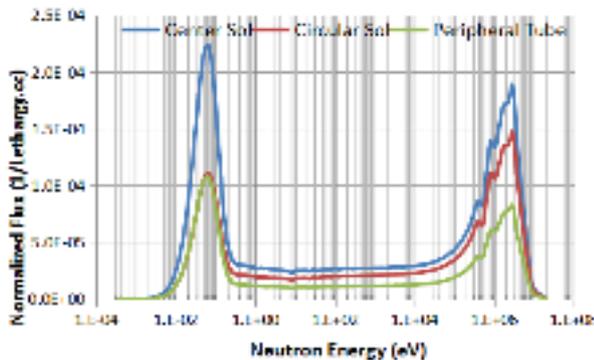
Ketika semua (6 buah) lubang reflektor diisi larutan uranium nitrat (UN) dengan konsentrasi sama dengan yang ada di pusat dan tabung annular (yaitu 300 gU/l), maka  $k_{eff}$  maksimum yang bisa dicapai adalah 0,992. Dengan demikian jika sistem ini didesain untuk memiliki  $k_{eff} = 0,995$  maka ada margin sebesar reaktivitas yang setara 3 tabung, hingga tercapainya kondisi kekritisan ( $k_{eff} = 1,0$ ).



**Gambar 11.** Harga  $k_{eff}$  pada beberapa jumlah bahan bakar TRIGA di perifer

Gambar 11 menunjukkan harga  $k_{eff}$  pada berbagai jumlah bahan bakar TRIGA yang dimasukkan pada lubang perifer. Karena burn-up bahan bakar TRIGA reaktor Kartini masih relatif kecil, maka batang bahan bakar yang dimasukkan pada lubang reflektor diasumsikan masih baru (*fresh*). Jika enam bahan bakar dimasukkan ke dalam lubang perifer, maka sistem SAMOP akan mencapai kondisi kritis. Dengan asumsi margin subkritikalitas harus lebih besar dari 0,5 %dk/k,

maka harga  $k_{eff}$  tidak boleh lebih dari 0,995 sehingga hanya tiga (3) bahan bakar TRIGA yang boleh dimasukkan pada lubang periferil, di mana  $k_{eff}=0,9921$ .



**Gambar 12.** Spektrum energi neutron pada larutan pusat, anular dan periferil

Gambar 12 menunjukkan spektrum energi neutron pada larutan bahan bakar di pusat, tabung anular dan tabung larutan periferil. Perhitungan spektrum energi neutron dikerjakan dengan menggunakan code MVP<sup>[8]</sup>. Flux neutron per satuan volume per lethargy pada larutan bahan bakar di center menunjukkan angka paling besar, baik neutron thermal maupun cepat. Flux neutron thermal pada larutan anular dan periferil hampir setara untuk rentang energy thermal. Namun untuk energi cepat flux di larutan sirkular lebih tinggi dari larutan di periferil.

#### IV. KESIMPULAN

Untuk memastikan larutan bahan bakar berada pada rentang under-moderated, maka konsentrasi 300 gU/l dipilih sebagai konsentrasi nominal untuk kondisi awal operasi.

Dengan konsentrasi larutan bahan bakar 300 gU/l, maka semua (enam) lubang periferil dapat diisi dengan larutan bahan bakar yang sama dengan tetap mempertahankan margin subkritisitas lebih dari 0,5 % dk/k.

Namun jika bahan bakar TRIGA segar yang dimasukkan ke lubang periferil, hanya bisa menampung 3 batang bahan bakar agar tetap mempertahankan margin subkritisitas lebih dari 0,5 % dk/k.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Russel M.B., Pasvhook V.A., Khvostionov V.Ye. (1998). Present status of the use of LEU in Aqueous reactors to produce Mo<sup>99</sup>. Int. Meeting on reduced enrichment for research and test reactors. Sao Paulo Brazil.
- [2] US NRC. Guidelines for preparing and reviewing applications for the licensing of non-power reactors: format and content, for the production of radioisotopes. Interim Staff Guidance Augmenting NUREG-1537 part 1.
- [3] OECD-NEA. (2017). 2017 medical isotope supply review: Mo<sup>99</sup>/Tc<sup>99m</sup> market demand and production capacity projection 2017-2022. Nuclear Development NEA/SEN/HLGMR (2017)2.
- [4] Piefer G.R., et al. (2011). Mo<sup>99</sup> production using a subcritical assembly. 1<sup>st</sup> Annual Molybdenum-99 Topical Meeting New Mexico.
- [5] Amanda J.Y., et al. (2013). A solution-based approach for Mo<sup>99</sup> production: consideration for nitrate versus sulfate media. Science and technology of nuclear installations. Vol. 2013. article ID 402570.
- [6] IAEA. (2008). Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactors for the production of Mo<sup>99</sup> and other short-lived radioisotopes. TECDOC-1601.
- [7] Monte Carlo Team. (2003). MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Los Alamos National Laboratory.
- [8] Nagaya Y., et al., (2005), MVP/GMVP II: General Purpose Monte Carlo Codes for Neutron and Photon Transport Transport Calculations Based on Continuous Energy and Multigroup Methods. JAERI.



## TINJAUAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL INDONESIA UNTUK PETUGAS INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR

**Dewi Prima Meiliasari, Bambang Eko Aryadi, Yudi Pramono**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN*

e-mail: [d.meiliasari@bapeten.go.id](mailto:d.meiliasari@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Kompetensi sangat dibutuhkan untuk semua pekerja atau tenaga kerja di bidang apapun, terlebih lagi untuk petugas instalasi bahan nuklir yang dalam melakukan pekerjaannya berkaitan dengan keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Berawal dari pentingnya kompetensi tersebut maka Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) menyusun Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir (Petugas IBN) yang memberikan panduan penyusunan materi pelatihan dan materi ujian berdasarkan kompetensi untuk petugas instalasi dan bahan nuklir. Namun seiring perjalanan waktu dan pengembangan pengaturan, Perka tersebut khususnya pengaturan mengenai pelatihan dan kompetensi tidak sesuai dengan amanah Peraturan Pemerintah Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional. Dalam PP tersebut diatur pemberian sertifikat kompetensi dilakukan oleh BNSP. Sertifikat kompetensi tersebut diberikan karena telah mengikuti pelatihan dan lulus ujian berdasarkan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI). Perumusan SKKNI dilakukan oleh Komite Standar Kompetensi, yang memiliki kualifikasi perumusan dan verifikasi standar kompetensi. Dengan ditetapkannya SKKNI, BAPETEN memberlakukan SKKNI tersebut secara wajib karena pelatihan dan kompetensi untuk petugas IBN berkaitan dengan keselamatan dan keamanan. Pemberlakuan SKKNI secara wajib diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN. Dengan demikian Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir khususnya pengaturan mengenai pelatihan dan kompetensi dihilangkan tidak lagi diatur di Perka tersebut.

**Kata kunci:** Petugas IBN, Kompetensi, SKKNI.

### ABSTRACT

*Competence is indispensable to all workers or laborers in any field, especially to nuclear material installation workers who in doing their work with regard to the safety of workers, society and the environment. Starting from the importance of the competence, the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) established BAPETEN Chairman Regulation (BCR) Number 6 of 2013 concerning the Working License of the Nuclear Installation and Installation Officer, providing guidance on the preparation of training materials and competency test materials for nuclear installation and materials workers. However, over the course of time and regulatory development, BCR Number 6 of 2013 especially the regulation on training and competence is not in accordance with the mandate of Government Regulation No. 31 of 2006 on National Work Training System. In the Government Regulation No. 31 of 2006, the provision of competence certificates shall be conducted by BNSP. The certificate of competence is given for attending the training and passing the exam based on Indonesian National Work Competence Standards (SKKNI). Formulation SKKNI conducted by the Competency Standards Committee, which has qualification of the formulation and verification of competency standards. With the enactment of SKKNI, BAPETEN enforces the SKKNI as mandatory because the training and competence for IBN officers is related to safety and security. The enforcement of SKKNI shall be regulated in the Regulation of the Head of BAPETEN. Thus, the BCR Number 6 of 2013 concerning the Working License of the Installation and Nuclear Material Officers especially the regulation concerning the training and the eliminated competence shall no longer be regulated in the BCR.*

**Keywords:** Nuclear Installations and Materials Officer, Competency, SKKNI.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kompetensi merupakan modal awal dalam melakukan pekerjaan. Petugas yang telah terqualifikasi adalah petugas yang berkompoten. Indonesia dengan jumlah populasi penduduk kurang lebih 257,9 juta<sup>1</sup>

mempunyai jumlah angkatan kerja sebesar 131,55 juta orang (per Februari 2017)<sup>2</sup>. Dengan angkatan kerja yang sedemikian besar dapat menjadi modal pembangunan

<sup>1</sup> <http://jateng.tribunnews.com/2016/09/01/data-terkini-jumlah-penduduk-indonesia-2579-juta-yang-wajib-ktp-1825-juta>

<sup>2</sup>

<http://tempo.com/read/news/2017/05/05/090872547/angkatan-kerja-februari-2017-meningkat-sebanyak-131-55juta>

yang dapat mendongkrak perekonomian secara cepat jika dikelola dengan tepat. Namun jika pemerintah tidak mampu mengelolanya, angkatan kerja ini bisa menjadi beban demografi berupa pengangguran muda. Masalah pengangguran timbul akibat kualitas tenaga kerja yang rendah yang menyebabkan perusahaan kesulitan menerima tenaga kerja tersebut. Untuk itu perlu tenaga kerja berkompentensi agar dapat menghindari peningkatan jumlah pengangguran dan menjadikan Indonesia negara maju, khususnya dalam pembangunan sumber daya industri yang mencakup: pembangunan sumber daya manusia, pemanfaatan sumber daya alam, pengembangan dan pemanfaatan teknologi industri.

Teknologi industri di bidang nuklir sudah dikembangkan di Indonesia antara lain dengan telah dioperasikannya Reaktor Triga 2000 di Bandung dengan 2000 kW yang merupakan reaktor pertama dan tertua di Indonesia, selanjutnya menyusul Reaktor Kartini Yogyakarta dengan 250 kW dan Reaktor Serba Guna GAS di Serpong dengan 30 MW. Untuk mengoperasikan sebuah reaktor dibutuhkan petugas. Petugas yang dimaksud dalam Peraturan Kepala BAPETEN (Perka BAPETEN) Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir (Petugas IBN) adalah petugas operator, supervisor, teknisi perawatan, petugas proteksi radiasi instalasi nuklir, pengurus inventori bahan nuklir, dan pengawas inventori bahan nuklir.

Setiap petugas yang mengoperasikan reaktor nuklir dan petugas tertentu di dalam instalasi nuklir lainnya dan didalam instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pention wajib memiliki izin, sesuai dengan amanah Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganuliran (UU Ketenaganukliran). Izin untuk petugas sebagaimana dimaksud dalam UU Ketenaganukliran diberikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) berdasarkan kompetensi yang dimiliki oleh setiap petugas IBN.

Setiap petugas IBN dalam mengoperasikan reaktor nuklir disyaratkan memiliki keterampilan dan keahlian khusus yang disebut dengan Kompetensi. Kompetensi dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional didefinisikan:

*“Kemampuan kerja setiap individu yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.”*

Untuk petugas IBN, pada saat ini belum ada lembaga independen sesuai sistem nasional yang berlaku yang memberikan sertifikat kompetensinya. Dengan mendapatkan surat izin bekerja dari BAPETEN, maka petugas IBN tersebut dinyatakan telah lulus dalam pelatihan dan ujian kualifikasi berdasarkan kompetensi, walaupun dalam hal ini bukan tugas BAPETEN mengeluarkan sertifikat kompetensi.

Dalam PP Nomor 31 Tahun 2006 diamanahkan tentang pemberian sertifikat kompetensi yang dilakukan oleh BNSP. Sertifikat kompetensi tersebut diberikan karena telah mengikuti pelatihan dan lulus ujian berdasarkan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI).

Definisi SKKNI dalam PP tersebut dan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 5

Tahun 2012 tentang Sistem Standardisasi Kompetensi Kerja Nasional adalah *“rumusan kemampuan kerja yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan dan/atau keahlian serta sikap kerja yang relevan dengan pelaksanaan tugas dan syarat jabatan yang ditetapkan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.”*. SKKNI menjadi acuan dalam penyusunan program pelatihan kerja dan penyusunan materi uji kompetensi

Dalam PP Nomor 31 Tahun 2006 dijelaskan bahwa SKKNI disusun berdasarkan kebutuhan lapangan usaha yang sekurang-kurangnya memuat kompetensi teknis, pengetahuan, dan sikap kerja. Rancangan SKKNI dibakukan melalui forum konvensi antar asosiasi profesi, pakar dan praktisi untuk sektor, sub sektor dan bidang tertentu dan ditetapkan dengan Peraturan Menteri.

Dalam Peraturan Menteri tersebut (Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 5 Tahun 2012 tentang Sistem Standardisasi Kompetensi Kerja Nasional) diatur secara jelas mengenai inisiasi dan perumusan SKKNI.

Inisiasi pengembangan SKKNI dapat berasal dari masyarakat, asosiasi profesi, lembaga sertifikasi profesi, lembaga pelatihan, pemerintah dan/atau pemangku kepentingan lainnya. Inisiasi pengembangan SKKNI disampaikan kepada instansi teknis sesuai dengan sektor atau lapangan masing-masing. Perumusan SKKNI di setiap sektor atau lapangan usaha dikoordinasikan oleh Instansi Teknis, sedangkan secara nasional dikoordinasikan oleh kementerian tenaga kerja dan transmigrasi.

Perumusan SKKNI dilakukan oleh Komite Standar Kompetensi. Dalam melakukan tugas, komite Standar Kompetensi membentuk Tim Perumus dan Tim Verifikasi. Tim perumus beranggotakan personil yang memiliki kualifikasi perumus standar kompetensi dan tim verifikasi beranggotakan personil yang memiliki kualifikasi verifikasi standar kompetensi.

SKKNI yang sudah ditetapkan, penerapannya dilakukan oleh instansi teknis yang mengusulkan. SKKNI diberlakukan secara wajib oleh instansi teknis apabila berkaitan dengan keamanan, keselamatan, kesehatan dan/atau mempunyai potensi perselisihan dalam perjanjian perdagangan dan jasa.

Penerapan SKKNI berlaku bagi tenaga kerja Indonesia maupun tenaga kerja asing yang bekerja di Indonesia.

Dengan adanya SKKNI yang disusun oleh personil yang memiliki kualifikasi dibidangnya diharapkan dapat menjamin kompetensi petugas IBN dapat diakui di Indonesia juga diakui oleh Negara lain, yang pada saat ini kompetensi diatur tersendiri dalam lampiran Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir, namun pada implementasinya ditemui beberapa pelatihan dan masih didapat materi pengujian petugas instalasi dan bahan nuklir yang tidak disampaikan atau sesuai dengan materi diklat yang harusnya mengacu pada Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir, misalnya terkait Budaya Keselamatan di Fasilitas, sistem catu daya listrik.

### 1.2 Permasalahan

Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir dirasa tidak sesuai lagi dengan perkembangan jaman dan amanah regulasi di atasnya, salah satunya tidak sesuai dengan Undang-Undang (UU) Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian dan PP Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional.

### 1.3. Tujuan dan Ruang Lingkup

Dengan penulisan makalah ini diharapkan mampu membantu memperbaiki dan menyempurnakan pengaturan salah satunya kompetensi Petugas IBN yang terdapat dalam Perka BAPETEN tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir dengan melihat regulasi di atasnya, salah satunya Undang-Undang (UU) Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian dan PP Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional.

## II. LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Metode penulisan ini dilakukan dengan cara studi pustaka dengan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *law in books* (aturan-aturan tertulis), diskusi dalam Konsultasi Publik dengan Petugas IBN di Reaktor Triga 2000 Bandung dan Reaktor Kartini Yogyakarta, diskusi dengan personil dan narasumber yang mempunyai peran dalam pemberian izin bekerja atau yang berperan dalam implementasinya. Penulisan makalah ini dilakukan dengan memetakan ketentuan-ketentuan atau pokok-pokok permasalahan yang terdapat dalam Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 dan dengan menggunakan referensi dari Undang-Undang (UU) Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian dan PP Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Pasal 8 PP Nomor 31 Tahun 2006 disebutkan bahwa “*SKKNI menjadi acuan dalam penyusunan program pelatihan kerja dan penyusunan materi uji kompetensi.*” Dari hasil studi yang dilakukan, dapat diidentifikasi beberapa rekomendasi untuk memperbaiki Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013, antara lain terkait dengan:

- Jenis-jenis Petugas IBN;
- Kompetensi;
- Pengujian Kualifikasi; dan
- Pelatihan

### III.A. Jenis-Jenis Petugas IBN

Bab II Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 membagi Petugas IBN untuk Reaktor Daya (RD), Reaktor Non Daya (RND), dan Instalasi Nuklir Non Reaktor (INN) yang terdiri dari:

- Operator,
- Supervisor,
- Petugas Proteksi Radiasi Instalasi Nuklir,
- Pengurus Inventori Bahan Nuklir, dan
- Pengawas Inventori Bahan Nuklir.

Petugas IBN yang melakukan aktifitas di reaktor nuklir harus mempunyai kompetensi baik dalam bidang pengetahuan mengenai reaktor, koordinasi atau kerjasama antar pekerja agar pengoperasian reaktor nuklir dapat berlangsung dengan selamat

Dalam UU Nomor 3 Tahun 2014 dinyatakan bahwa “*pembangunan sumber daya manusia industri dilakukan untuk menghasilkan sumber daya manusia yang kompeten guna meningkatkan peran sumber daya manusia Indonesia di bidang industri.*” Pembangunan sumber daya manusia industri meliputi wirausaha industri, tenaga kerja industri, pembina industri, dan konsultan industri.

Dengan mengacu pada UU tersebut, tenaga kerja industri manapun harus mempunyai dan mengembangkan kompetensinya. Sehingga jenis Petugas IBN dalam Bab II di Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 dapat disesuaikan dengan kebutuhan, misalnya menambahkan petugas proteksi fisik yang mempunyai tugas menjaga keamanan reaktor nuklir, yang juga dibutuhkan kompetensi.

### III.B. Kompetensi

Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten sangat diperlukan, yaitu SDM yang memiliki kompetensi tertentu yang meliputi aspek pengetahuan (*knowledge, science*), keterampilan (*skill, technology*), dan sikap perilaku (*attitude*) yang dibutuhkan untuk menunjang keberhasilan pelaksanaan pekerjaan, seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Irisan Kompetensi

Dalam Pasal 10 Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 untuk memperoleh surat izin bekerja (SIB) disyaratkan untuk menyerahkan salinan sertifikat lulus pelatihan berdasarkan kompetensi dan mengisi formulir permohonan izin bekerja yang di ayat berikutnya dinyatakan terdapat pada lampiran perka BAPETEN tersebut.

Kompetensi biasanya menjadi syarat untuk menempatkan orang pada suatu jabatan atau posisi. Apabila kita mengacu pada UU Nomor 3 Tahun 2014 yang menyatakan “*pembangunan tenaga kerja industri dilakukan untuk menghasilkan tenaga kerja industri yang mempunyai kompetensi kerja di bidang industri sesuai dengan SKKNI*”

Kompetensi menurut PP No 31 Tahun 2006 adalah kemampuan kerja setiap individu yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap kerja yang sesuai

dengan standar yang ditetapkan. Hal ini dirumuskan dalam SKKNI.

SKKNI yang sudah ditetapkan sesuai dengan proses yang telah dijelaskan dalam bab Pendahuluan di atas, yang penerapannya dilakukan oleh instansi teknis yang mengusulkan. SKKNI diberlakukan secara wajib oleh instansi teknis apabila berkaitan dengan keamanan, keselamatan, kesehatan dan/atau mempunyai potensi perselisihan dalam perjanjian perdagangan dan jasa.

Kompetensi Petugas IBN sangat terkait mengenai keselamatan dan keamanan, karena itu BAPETEN wajib memberlakukan secara wajib SKKNI yang sudah ditetapkan melalui Peraturan Kepala BAPETEN. Dengan demikian pengaturan kompetensi petugas IBN tidak perlu diatur dalam lampiran Perubahan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013, karena akan diatur tersendiri dalam SKKNI untuk semua petugas IBN. Apabila SKKNI belum ditetapkan, maka pemegang izin bisa tetap mengacu pada lampiran Perka BAPETEN tersebut.

### III.C. Pengujian Kualifikasi

Pengujian Kualifikasi yang diatur dalam Bagian Kesatu Bab IV Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 merupakan pengujian untuk mendapatkan surat izin bekerja yang berdasarkan kompetensi. Dalam pengujian tersebut dibentuk Tim Penguji yang terdiri atas perwakilan BAPETEN, Pemegang Izin (PI), perguruan tinggi, lembaga penelitian, atau organisasi lain terkait. Keterlibatan PI dalam Tim Penguji karena pertimbangan bahwa PI mengetahui kompetensi seperti apa yang harus dimiliki pekerja yang bekerja di instalasinya.

Apabila kita mengacu pada PP Nomor 31 Tahun 2006, yang melakukan uji kompetensi berdasarkan SKKNI yaitu BNSP atau lembaga sertifikasi profesi yang memenuhi persyaratan akreditasi. Dalam PP tersebut mengatakan bahwa “Peserta pelatihan yang telah menyelesaikan program pelatihan berhak mendapatkan sertifikat pelatihan dan/atau sertifikat kompetensi kerja. Sertifikat pelatihan kerja diberikan oleh lembaga pelatihan kerja kepada peserta pelatihan yang dinyatakan lulus sesuai dengan program pelatihan kerja yang diikuti. Sertifikat kompetensi kerja diberikan oleh BNSP kepada lulusan pelatihan dan/atau tenaga kerja berpengalaman setelah lulus uji kompetensi. BNSP dapat memberikan lisensi kepada lembaga sertifikasi profesi yang memenuhi persyaratan akreditasi untuk melaksanakan sertifikasi kompetensi kerja.”

Sertifikat kompetensi kerja menurut Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2004 tentang Badan Nasional Sertifikasi Profesi adalah proses pemberian sertifikat kompetensi yang dilakukan secara sistematis dan obyektif melalui uji kompetensi yang mengacu kepada standar kompetensi kerja nasional Indonesia dan/atau internasional. Dengan demikian BNSP sebagai lembaga independen memiliki kapasitas dalam menguji petugas IBN.

Jadi apabila SKKNI sudah terbentuk, maka BNSP atau lembaga sertifikasi profesi yang memenuhi persyaratan akreditasi yang bertugas melaksanakan sertifikasi kompetensi setiap petugas IBN. Dengan praktek ini BAPETEN sebagai badan pengawas tidak

perlu menguji kualifikasi, BAPETEN hanya memberikan surat izin bekerja untuk setiap petugas IBN apabila petugas IBN telah menyerahkan bukti sertifikat lulus ujian kompetensi yang dikeluarkan oleh BNSP atau lembaga sertifikasi profesi yang memenuhi persyaratan akreditasi. Dengan demikian dalam rancangan perubahan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tidak akan mengatur ujian kualifikasi karena diatur dalam Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) yang ditetapkan oleh Peraturan Presiden.

KKNI menjadi acuan dalam penetapan kualifikasi tenaga kerja. KKNI menurut PP Nomor 31 Tahun 2006 adalah “kerangka penjenjangan kualifikasi kompetensi yang dapat menyandingkan, menyetarakan dan mengintegrasikan antara bidang pendidikan dan bidang pelatihan kerja serta pengalaman kerja dalam rangka pemberian pengakuan kompetensi kerja sesuai dengan struktur pekerjaan di berbagai sektor.”

Keterkaitan standar kompetensi kerja Indonesia (SKKNI) yang mengatur kompetensi dengan KKNI yang mengatur kualifikasi adalah: kedua sistem tersebut dibuat berdasarkan atas kebutuhan industri/pengguna dari kementerian/lembaga. Dengan dasar standar kompetensi kerja (SKKNI) dilaksanakan pelatihan berbasis kompetensi yang dilakukan lembaga diklat dan dibuktikan dengan sertifikasi kompetensi yang dikeluarkan oleh lembaga sertifikasi, seperti dijelaskan dalam Gambar 3 mengenai Diagram Strategi Peningkatan Kompetensi SDM.



Gambar 3. Diagram Strategi Peningkatan Kompetensi SDM

### III.D. Pelatihan

Bagian Kedua Bab IV Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 mengaturlah bahwa pelatihan berdasarkan kompetensi dilaksanakan oleh lembaga yang terakreditasi atau oleh lembaga pelatihan yang ditunjuk oleh Kepala BAPETEN. Dalam Lampiran Perka ini juga diuraikan materi pelatihan untuk menjadi acuan dalam pembuatan silabus materi pelatihan. Penyediaan panduan detail materi pelatihan, kompetensi, dan materi ujian di Lampiran Perka BAPETEN dimaksudkan agar materi ujian yang disusun/diberikan tidak berbeda dengan materi pada waktu mengikuti pelatihan.

Berdasarkan PP Nomor 31 Tahun 2006 untuk program pelatihan kerja disusun berdasarkan SKKNI, Standar Internasional dan/atau standar khusus. Program pelatihan kerja dapat disusun secara berjenjang atau

tidak berjenjang. Untuk yang berjenjang mengacu pada KKNI dan untuk yang tidak berjenjang disusun berdasarkan unit kompetensi atau kelompok unit kompetensi.

Metode pelatihan kerja juga jelas diatur dalam PP tersebut, metode pelatihan kerja dapat berupa pelatihan di tempat kerja dan/atau pelatihan di lembaga pelatihan kerja. Dalam hal pemagangan tidak diatur dalam PP tersebut, namun diatur dalam Peraturan Menteri. Penyelenggaraan pelatihan kerja didukung dengan sarana, prasarana, dan tenaga kepelatihan. Pelatihan diselenggarakan oleh lembaga pelatihan kerja pemerintah yang telah memiliki tanda daftar atau lembaga pelatihan kerja swasta yang telah memiliki izin dari instansi yang bertanggung jawab di bidang ketenagakerjaan Kabupaten/Kota. Lembaga pelatihan kerja dapat memperoleh akreditasi dari lembaga akreditasi pelatihan kerja setelah melalui proses akreditasi. Lembaga pelatihan kerja adalah instansi pemerintah, badan hukum atau perorangan yang memenuhi persyaratan untuk menyelenggarakan pelatihan kerja.

Peserta pelatihan yang telah menyelesaikan program pelatihan berhak mendapatkan sertifikat pelatihan dan/atau sertifikat kompetensi kerja yang diberikan oleh lembaga pelatihan kerja (BNSP) setelah lulus uji kompetensi.

Dalam rancangan perubahan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 dapat tetap mencantumkan materi pelatihan berdasarkan SKKNI untuk menjadi acuan dalam membuat silabus materi pelatihan yang dilakukan oleh lembaga pelatihan instansi pemerintah, dalam hal ini Pusat Pendidikan dan Latihan Badan Tenaga Nuklir (Pusdiklat – BATAN).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan di atas disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 sudah lengkap mengatur kompetensi, materi pelatihan dan materi pengujian yang terdapat dalam lampirannya, namun dalam perjalanannya ditemui beberapa pelatihan dan didapat materi pengujian petugas instalasi dan bahan nuklir yang tidak disampaikan atau tidak sesuai dengan materi diklat, misalnya terkait Budaya Keselamatan di Fasilitas, sistem catu daya listrik.
- b. SKKNI adalah rumusan kemampuan kerja yang mencakup aspek pengetahuan, keterampilan dan/atau keahlian serta sikap kerja yang relevan dengan pelaksanaan tugas dan syarat jabatan yang ditetapkan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku. SKKNI menjadi acuan dalam penyusunan program pelatihan kerja dan penyusunan materi uji kompetensi
- c. Berdasarkan sistem nasional yang berlaku, BNSP sebagai lembaga independen mempunyai peranan penting dalam kualifikasi Petugas IBN berdasarkan SKKNI;
- d. Bila pengaturan kompetensi petugas IBN telah mengikuti sistem nasional, BAPETEN akan

menerbitkan SIB setelah menerima sertifikat lulus ujian yang dikeluarkan BNSP untuk setiap petugas IBN yang mengajukan permohonan izin bekerja;

- e. Kompetensi tenaga kerja dan sertifikasi profesi merupakan solusi dalam upaya meningkatkan produktivitas tenaga kerja. Selanjutnya, produktivitas tenaga kerja merupakan variabel kunci untuk memenangkan persaingan antar individu, antar industri, antar sektor, antar daerah, dan bahkan antar Negara;
- f. Apabila selama SKKNI belum ditetapkan, pengaturan dalam rancangan perubahan Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 harus mengacu pada Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, dan Peraturan Pemerintah Nomor 31 Tahun 2006 tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional, khususnya yang berkaitan dengan kompetensi, pelatihan, dan ujian kualifikasi;

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [2] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Perindustrian*, Setneg, Jakarta, 2014;
- [3] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan*, Setneg, Jakarta, 2003;
- [4] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 31 tahun 2006 Tentang Sistem Pelatihan Kerja Nasional*, Setneg, Jakarta, 2006;
- [5] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 41 tahun 2015 Tentang Sumber Daya Industri*, Setneg, Jakarta, 2006;
- [6] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 23 tahun 2004 Tentang BNSP*, Setneg, Jakarta, 2004;
- [7] Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2012 Tentang Krangka Kualifikasi Nasional Indonesia*, Setkab, Jakarta, 2012;
- [8] Republik Indonesia, *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 5 Tahun 2012 Tentang Sistem Standardisasi Kompetensi Kerja Nasional*, Menteri Hukum, Jakarta, 2012;
- [9] IAEA, *The Management System for Facilities and Activities, Safety Standards Series No. GS-R-3 2006*;
- [10] *Operator Licenses*, 10 CFR, Part. 55;
- [11] *Recruitment, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants*, NSG 2.8 2002;
- [12] <http://cdn.assets.print.kompas.com/baca/iptek/2015/06/26/Faktor-Keselamatan-Diutamakan-dalam-Pembangunan-Re>, diakses 30 Mei 2017;
- [13] <https://id.linkedin.com/pulse/kompetensi-sdm-jadi-kebutuhan-mawardi-s-t>, diakses 30 Mei 2017.



## STUDI KARAKTERISTIK TAPAK ASPEK METEOROLOGI DI KAWASAN SERPONG

**Rahmat Edhi Harianto, Supyana, Tino Sawaldi AN**

*Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: [r.eharianto@bapeten.go.id](mailto:r.eharianto@bapeten.go.id); [s.supyana@bapeten.go.id](mailto:s.supyana@bapeten.go.id); [t.sawaldi@bapeten.go.id](mailto:t.sawaldi@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Ilmu meteorologi memiliki peranan penting dalam keselamatan instalasi nuklir. Peristiwa/fenomena kejadian meteorologi seperti angin ekstrim, angin puting beliung, petir, temperatur dan kelembaban ekstrim, dan curah hujan tinggi yang menyebabkan banjir dapat menyebabkan bahaya yang memengaruhi keselamatan instalasi nuklir. Studi karakteristik tapak aspek meteorologi digunakan untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan sebagai parameter dasar desain reaktor aspek meteorologi di Serpong, untuk keperluan desain dan konstruksi reaktor. Metode studi karakteristik tapak ini menggunakan data pemohon izin yang didapat melalui pengukuran di dalam tapak dan di luar tapak. Data dan informasi aspek meteorologi yang dipantau dan dikumpulkan terdiri dari dua bagian, meliputi nilai ekstrim parameter meteorologi (tekanan, suhu, dan kelembapan udara, curah hujan, arah dan kecepatan angin, serta densitas dan frekuensi petir), dan fenomena cuaca ekstrim (angin kencang yang berasal dari puting beliung di darat dan di laut, dan gelombang pasang akibat badai dan gelombang pasang akibat angin). Data pemohon tersebut kemudian dievaluasi dan dianalisis menggunakan Peraturan Kepala BAPETEN No.6 Tahun 2014 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Aspek Meteorologi dan Hidrologi, standar internasional dari badan pengawas nuklir negara lain, peraturan/standar dari badan meteorologi di Indonesia dan dunia, maupun rekomendasi/pendapat pakar. Hasil studi karakteristik tapak di Serpong menunjukkan bahwa nilai kecepatan angin dan curah hujan maksimum sebesar 48,2 m/s dan 296 mm/hari, kecepatan angin puting beliung berskala *Enhanced Fujita* kategori 1, serta jumlah sambaran petir relatif tinggi. Tapak aman dari bahaya akibat puting beliung, gelombang pasang akibat badai dan akibat angin, dan misil akibat puting beliung.

**Kata kunci:** aspek meteorologi, desain reaktor, evaluasi dan penilaian.

### ABSTRACT

*Meteorology's knowledge has crucial role in regards of nuclear installation safety. Meteorology events such as extreme wind, tropical cyclone, lighting, extreme temperature and humidity also high rainfall causing flood can induce danger that will affect the nuclear installation's safety. The study of siting characteristic for meteorology aspect is use to gain data to be used as basic parameter reactor's in the design and construction purposes in Serpong. The method of this study used data provided by applicant from onsite and offsite measurement. Meteorology data and information review and collected are divided into two section covers meteorological extreme value parameter (pressure, temperature, air humidity, rainfall rate, wind speed, and lighting frequency and density) and extreme weather phenomena (tropical cyclone (storm), waterspouts, tide surge due to storm, and wind wave). Applicants data then were evaluated based on Nuclear Energy Regulatory Agency Chairman Regulation Number 6 Year 2014 On Nuclear Installation Site Evaluation For Meteorological And Hydrological Aspects, international standard from other countries nuclear regulatory agency, regulation/standard from meteorological agency in Indonesia and abroad, also expert recommendation. The study result shows that the maximum for wind speed and precipitation are 48,2 m/s and 296 mm/day, tropical cyclone from storms is categorized as EF-1 scale, also relatively high Number Flash to Ground, respectively. Site are safe from hazards of tropical cyclone, waterspouts, tide surge due to storm, and wind wave, also missile due to tropical cyclone.*

**Keywords:** aspect of meteorology, reactor design, review and assessment

## I. PENDAHULUAN

Ilmu meteorologi memiliki peranan penting dalam industri energi nuklir. Peristiwa/fenomena kejadian meteorologi seperti angin ekstrim, angin puting beliung, petir, temperatur dan kelembaban ekstrim, dan curah hujan tinggi yang menyebabkan banjir dapat menyebabkan bahaya yang memengaruhi keselamatan instalasi nuklir. Fenomena meteorologi dan hidrologi secara simultan dapat memengaruhi seluruh struktur, sistem, dan komponen (SSK) yang penting bagi keselamatan di tapak instalasi nuklir. Hal

ini dapat mengarah pada resiko kegagalan dengan penyebab sama bagi sistem-sistem yang penting untuk keselamatan, seperti sistem pemasok daya darurat, dengan kemungkinan kehilangan daya listrik di luar tapak, sistem pembuangan panas peluruhan, dan sistem vital lainnya.

Fenomena meteorologi dan hidrologi dapat juga memengaruhi jaringan komunikasi dan jaringan perpindahan di sekitar daerah tapak instalasi nuklir. Fenomena ini dapat menghambat tanggap darurat karena membuat cara penyelamatan menjadi tidak

mungkin dan mengisolasi tapak saat kedaruratan, dengan dampak berupa kesulitan komunikasi dan pasokan sumber daya[1].

Ilmu meteorologi merupakan salah satu aspek yang harus dievaluasi dan dianalisis dalam Izin Tapak seperti yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan keselamatan evaluasi tapak reaktor nuklir, dan Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2014.

Makalah ini berisi evaluasi dan penilaian terhadap data dan informasi karakteristik tapak kawasan Serpong, meliputi sumber pengumpulan dan pemantauan data meteorologi, evaluasi bahaya meteorologi, dan penentuan nilai parameter dasar desain. Makalah ini juga akan memberikan rekomendasi terhadap data dan informasi yang diajukan pemohon.

Evaluasi dan penilaian aspek meteorologi bertujuan agar secara dini bahaya-bahaya yang terdapat di sekitar reaktor nuklir dapat diantisipasi oleh desain instalasi, selain itu tujuan dilakukan studi karakteristik tapak aspek meteorologi ini agar diperoleh nilai yang akan digunakan sebagai nilai acuan parameter dasar desain reaktor aspek meteorologi di Serpong untuk keperluan desain dan konstruksi reaktor nuklir.

## II. POKOK BAHASAN

Meteorologi didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari proses fisis atmosfer bumi dan gejala cuaca yang terjadi di dalam atmosfer terutama pada lapisan bawah yaitu troposfer. Sementara klimatologi adalah ilmu yang berguna untuk mencari gambaran dan penjelasan sifat iklim, mengapa iklim di berbagai tempat bumi berbeda dan bagaimana kaitan antara iklim dan aktivitas manusia. Sehingga klimatologi dapat juga didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari jenis iklim di muka bumi dan faktor penyebabnya. Karena klimatologi mencakup juga interpretasi dan koleksi data pengamatan maka ilmu ini memerlukan teknik statistik. Dengan demikian klimatologi disebut juga meteorologi statistik[2].

Sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2014, data dan informasi aspek meteorologi yang dipantau dan dikumpulkan terdiri dari dua bagian, meliputi:

- a. nilai ekstrim parameter meteorologi yaitu: tekanan udara, suhu udara, curah hujan dan kelembapan udara, arah dan kecepatan angin, dan densitas dan frekuensi petir.
- b. Fenomena cuaca ekstrem, yaitu:
  - i. angin kencang yang terdiri dari siklon tropis (badai) dan Puting Beliung di badan air/waterspouts;
  - ii. gelombang yang terdiri dari Gelombang Pasang Akibat Badai dan Gelombang Akibat Angin.

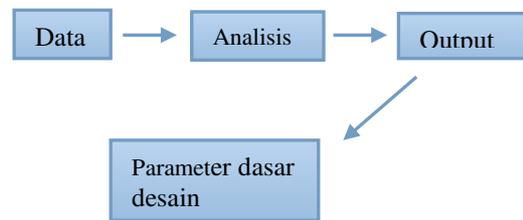
## III. METODOLOGI PEMBAHASAN

Metode pembahasan dilakukan dengan cara membandingkan antara kegiatan evaluasi tapak dan hasil evaluasi BAPETEN dengan Perka BAPETEN No.

6 Tahun 2014, dokumen IAEA SSG.18, WMO 8, standar internasional, jurnal ilmiah serta rekomendasi/pendapat ahli.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dapat digambarkan bahwa tahapan evaluasi dan penilaian dalam menilai karakteristik tapak aspek meteorologi adalah sebagai berikut:



**Gambar 1.** Metode evaluasi dan penilaian data tapak aspek meteorologi

### A. Pengumpulan data

#### a. Data Meteorologi di Tapak (Onsite)

Data meteorologi di tapak diperoleh melalui pemantauan dan pengukuran di tapak menggunakan instrumen yang terpasang di stasiun meteorologi di tiga level ketinggian (10 m, 30 m, 60 m). Pada dokumen kegiatan evaluasi tapak yang disampaikan diperoleh informasi bahwa terdapat permasalahan dalam ketersediaan dan konsistensi data (data tapak periode 2009 – 2014 sekitar 50%) sehingga data ini tidak digunakan dalam analisis.

Sesuai dengan persyaratan pengumpulan data di dalam tapak yang terdapat dalam Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2014, untuk bisa melakukan analisis kejadian ekstrem untuk kebutuhan desain bangunan reaktor, jika terdapat data rekaman pengukuran selama dua tahun tanpa terputus. Ketersediaan data sebesar 50% tidak dapat diterima.

Oleh karena itu, evaluator BAPETEN menggunakan referensi badan pengawas Amerika Serikat (USNRC, NUREG 0800 Bab 2.3.1. Regional climatology) bahwa untuk kebutuhan desain bangunan, data cuaca bisa dianggap cukup stabil jika memiliki periode tidak kurang dari 30 tahun. Semakin panjang jangka waktu data semakin baik hasil analisis yang dihasilkan. Sehingga evaluator BAPETEN memutuskan untuk menganalisis dengan menggunakan data di luar tapak (data diperoleh pemohon dari stasiun milik Badan Meteorologi, klimatologi dan geofisika (BMKG) di sekitar tapak yang merekam data hingga 30 tahun) dengan memilih stasiun meteorologi di luar tapak yang memiliki kemiripan dengan data di dalam tapak. Penentuan analisis kemiripan data luar tapak dengan data di dalam tapak menggunakan analisis komparasi dibahas dalam Tabel 1.

Terhadap ketersediaan data dari stasiun meteorologi di dalam tapak sebesar 50% tersebut, evaluator BAPETEN menyarankan pemohon membangun stasiun meteorologi baru di dalam tapak dengan standar kelas II BMKG, melakukan perawatan dan kalibrasi terhadap peralatan meteorologi secara

berkala, mengingat pemegang izin wajib melakukan pemantauan tapak instalasi nuklir hingga tahap dekomisioning [2].

b. Data di luar tapak (*Offsite*)

Data dan informasi meteorologi dari luar tapak dikumpulkan dari stasiun meteorologi yang dioperasikan BMKG di wilayah sekitar tapak. Pengumpulan data dan informasi meteorologi dari luar tapak tersebut dilakukan tanpa terputus pada interval yang tepat sepanjang periode waktu yang lama. Pemohon menggunakan 3 stasiun yaitu stasiun meteorologi Pondok Betung, Curug, dan Cengkareng yang memiliki rekaman data lebih dari 30 tahun. Untuk memilih stasiun BMKG di luar tapak yang memiliki kemiripan dengan kondisi klimatologis di tapak, digunakan analisis komparasi pola curah hujan dan analisis statistik.



**Gambar 2.** Stasiun BMKG di sekitar tapak kawasan Serpong

Stasiun meteorologi BMKG Pondok betung, Curug, dan Cengkareng berjarak masing-masing 15,6 km, 14,8 km, dan 26,2 km dari tapak reaktor di Serpong.

**Tabel 1.** Analisis komparasi data luar tapak dengan data dalam tapak

No	Parameter	Lokasi Stasiun				
		1	2	3	Luar Tapak	Tapak
1	Curah hujan tahunan	2336	2416	1749	2167	2519
2	Korelasi (r)	0,79	0,79	0,23	0,59	-
3	Jarak dari site	15,6	14,8	26,2	-	-
4	selisih jarak curah hujan	163	108	770	352	-
5	CH maksimum	415	342	449	400	312
6	Standar Deviasi	366	65,9	364	54,8	-

ket. 1. Pondok Betung 2. Curug dan 3. Cengkareng

Dari Tabel 1, pola curah hujan Pondok Betung, Curug, maupun Cengkareng jika dibandingkan dengan pola curah hujan tapak memiliki kesamaan pola yang mengindikasikan termasuk dalam pola curah hujan monsunial. Lokasi tapak memiliki jumlah curah hujan tahunan rata-rata (dihitung dari 2010-2014) sebesar 2519 mm. Apabila dibandingkan dengan lokasi tapak, curah hujan tahunan rata-rata Pondok Betung adalah 2336 mm, korelasi  $r = 0,59$

dengan standar deviasi = 76,6. Pola curah hujan Pondok Betung mirip dengan pola curah hujan lokasi tapak yang hanya berjarak 15,6 km. Sementara itu, curah hujan tahunan rata-rata Curug adalah 2416 mm, korelasi  $r = 0,79$  dengan standar deviasi = 65,9. Pola curah hujan Curug sangat mirip dengan pola curah hujan lokasi tapak yang hanya berjarak 14,8 km. Korelasi ( $r$ ) menunjukkan hubungan antara curah hujan bulanan di luar tapak dan di dalam tapak, semakin besar ( $r$ ) mendekati nilai 1 menunjukkan data di luar tapak mirip dengan data di dalam tapak.

Dari kedua stasiun meteorologi tersebut, Cengkareng memiliki pola yang tidak terlalu mirip dengan lokasi tapak. Jumlah curah hujan tahunan rata-rata Cengkareng hanya 1749 mm, korelasi  $r = 0,23$  dengan standar deviasi = 95,4 serta berjarak 26,2 km dari tapak.

Dengan demikian, berdasarkan analisis komparasi pola curah hujan antara stasiun meteorologi di luar tapak dan di dalam tapak, stasiun Pondok Betung dan Curug lebih representatif untuk digunakan sebagai stasiun meteorologi referensi dalam evaluasi bahaya meteorologi.

## B. Evaluasi bahaya

### a. Nilai ekstrim parameter meteorologi

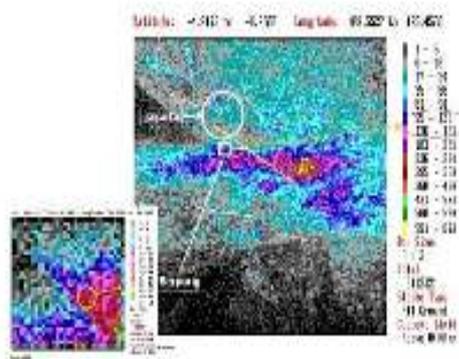
Evaluasi bahaya meteorologi ekstrem dilakukan pada parameter meteorologi meliputi kecepatan angin, suhu udara dan curah hujan. Data rekaman selama 30 tahun yang digunakan adalah data stasiun BMKG Pondok Betung dan Curug. Rangkaian data nilai maksimum dan minimum dari stasiun tersebut diolah dengan menggunakan distribusi statistik yang sesuai untuk mendapatkan nilai ekstrem tahunan maksimum dan minimum. Hasil analisis statistik adalah prediksi dari nilai maksimum untuk jangka waktu beberapa tahun ke depan. Analisis menggunakan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun dengan mempertimbangkan masa operasi reaktor.

Perhitungan statistik (periode ulang 100 tahun) untuk stasiun BMKG Pondok Betung menghasilkan nilai kecepatan angin maksimum 48,2 m/s, temperatur maksimum-minimum 40,9°C- 25°C, dan curah hujan maksimum 296 mm/hari, sementara perhitungan statistik periode ulang 100 tahun dari stasiun BMKG Curug diperoleh nilai kecepatan angin maksimum 41,1 m/s temperatur maksimum-minimum 38,7°C- 25°C, dan curah hujan maksimum 226 mm/hari.

Perhitungan statistik periode ulang 100 tahun akan digunakan sebagai input nilai dalam desain reaktor, oleh karena itu stasiun meteorologi BMKG Pondok Betung dipilih karena memiliki rentang nilai maksimum dan minimum yang lebih lebar daripada stasiun meteorologi Curug. Stasiun meteorologi BMKG dipilih sebagai acuan nilai parameter dasar desain untuk keperluan desain dan konstruksi reaktor, di kawasan Serpong.

Analisis petir di daerah Serpong telah dilakukan studi oleh Prof. Reynaldo Zorro (ITB) di tahun 1999 [8], yang menyimpulkan bahwa analisis kerapatan sambaran (*Ground Flash Density – GFD* atau *Number Flash to Ground – Ng*), yaitu jumlah

sambaran petir ke tanah per kilometer persegi per tahun.



**Gambar 3.** Kerapatan sambaran petir daerah Serpong

Nilai  $N_g$  di daerah Serpong menunjukkan nilai kerapatan sambaran petir mencapai 15-40 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun atau 95-182 sambaran/3km<sup>2</sup>/tahun (Gambar 3). Nilai ini mengindikasikan bahaya petir yang relatif tinggi.

#### b. Fenomena meteorologi jarang terjadi

Evaluasi bahaya fenomena meteorologi jarang terjadi dilakukan pada parameter meteorologi meliputi analisis puting beliung dan misil, siklon tropis, *waterspouts*, hujan es (*hail*), gelombang pasang akibat badai dan akibat angin.

##### i. Puting beliung

Analisis puting beliung dilakukan dengan melakukan analisis parameter meteorologi pada beberapa kejadian Puting Beliung sepanjang tahun 2004-2014 yang terjadi di sekitar tapak.

Hasil studi yang dihasilkan pemohon menyebutkan bahwa dari analisis parameter meteorologi pada beberapa kejadian puting beliung didapatkan kecepatan angin tertinggi hanya mencapai 7.2 m/s (terekam di stasiun BMKG-Curug) dimana angka ini jauh dari realitas kecepatan angin yang terjadi saat terjadinya Puting Beliung. Didasarkan pada Perka BMKG Tahun 2010 [5], disebutkan bahwa kecepatan Puting Beliung dapat mencapai 64,4 km/jam. Sedangkan kajian angin ekstrem menunjukkan bahwa di stasiun Pondok Betung kecepatan angin bisa mencapai 48,2 m/s (174 km/h) dengan periode ulang 100 tahun ke depan. Dari fakta-fakta ini, dapat disimpulkan bahwa tingkat bahaya puting beliung adalah skala Fujita EF-0 dan di bawah kecepatan angin zona 3 pada USNRC Regulatory Guide, 2007 [7]. Namun demikian demi pertimbangan keselamatan, pemohon menetapkan nilai dasar desain kecepatan angin puting beliung sebesar 178 km/jam sebagai *site specific parameter*. Nilai ini didasarkan pada skala Fujita yang dinaikkan ke EF-1. Nilai yang lebih konservatif ini dapat diterima evaluator BAPETEN demi pertimbangan keselamatan.

##### ii. Misil akibat puting beliung

Mengacu referensi badan pengawas Amerika Serikat [7], disebutkan bahwa kecepatan angin yang

lebih besar dari 34 m/s (75 mil per jam) dapat menyebabkan potensi “misil” dari objek yang dekat dengan jalur angin tornado dan dari puing-puing struktur di dekatnya yang rusak. Lintasan Tornado dengan kecepatan angin sedemikian besar ini dapat mengangkat atau melemparkan/melontarkan berbagai objek sehingga membahayakan keselamatan reaktor. Sesuai data angin maksimum yang terekam di tapak sebesar 7.2 m/s, kecepatan angin maksimum ini sangat kecil sehingga kebolehdan terjadinya misil akibat puting beliung sangat rendah.

##### iii. Siklon tropis

Siklon tropis merupakan badai dengan kekuatan yang besar, dengan radius rata-rata siklon tropis mencapai 150 hingga 200 km. Siklon tropis terbentuk di atas lautan luas yang umumnya mempunyai suhu permukaan air laut hangat lebih dari 26,5°C. Hasil investigasi pemohon menyebutkan bahwa terdapat tiga siklon yang terindikasi melewati wilayah sekitar laut selatan Jawa.



**Gambar 4.** Tiga siklon yang melintasi selatan Pulau Jawa

Siklon Kurrily yang terjadi pada tahun 2009 di atas Kepulauan Aru mengakibatkan kejadian curah hujan lebat 20 mm, 92 mm dan 193 mm pada 27, 28 dan 29 April 2009. Tapak berada di luar radius 500 km, sehingga siklon tropis tidak berdampak pada wilayah tapak.

##### iv. *Waterspouts*

*Waterspout* adalah sebuah kolom pusaran seperti corong yang menghubungkan air dengan awan. *Waterspout* memiliki radius pusaran mencapai ratusan meter, mirip dengan fenomena puting beliung, namun terjadi di atas perairan. Tapak reaktor yang diajukan pemohon berada di darat dan jauh dari perairan laut sehingga fenomena ini tidak dipertimbangkan.

##### v. Hujan es (*hail*)

Hujan es adalah bentuk presipitasi padat, yang terdiri dari bola-bola es. Salah satu proses pembentukannya adalah melalui kondensasi uap air lewat pendinginan di atmosfer pada lapisan di atas level beku. Es yang terjadi dengan proses ini biasanya berukuran besar antara 5 mm dan 200 mm (diameter). Hingga saat ini kawasan Serpong belum pernah dilanda hujan es.

vi. Gelombang pasang akibat badai dan akibat angin

Evaluasi bahaya gelombang dilakukan untuk tapak di dekat danau besar, laut dan samudra. Tapak yang berada di kawasan Serpong terletak di daratan dan jauh dari badan air, seperti laut.

## V. KESIMPULAN

Telah dilakukan studi karakteristik tapak aspek meteorologi di Serpong. Hasil studi karakteristik tapak di Serpong menunjukkan bahwa nilai maksimum kecepatan angin dan curah hujan sebesar 48,2 m/s dan 296 mm/hari, serta kecepatan angin puting beliung 178 m/s.

Tapak reaktor aman dari bahaya misil akibat puting beliung, bahaya akibat siklon tropis, dan bahaya akibat gelombang pasang akibat badai dan akibat angin. Bahaya petir perlu menjadi perhatian utama dalam desain dan konstruksi reaktor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pimpinan BAPETEN yang telah memberi kesempatan penulis mengikuti IAEA fellowship program ke USNRC dalam bidang review dan penilaian aspek meteorologi untuk permohonan izin tapak PLTN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA Specific Safety Guide No. 18 *Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*, Vienna, 2011.
- [2] Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2014 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi
- [3] Tjasyono, B., *Meteorologi terapan*, penerbit ITB, 2004.
- [4] U.S. NRC, *Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants*, NUREG-0800, March 2007 bab 2.3.1. Regional Climatology
- [5] *Peraturan* Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Nomor: 009 tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem, Jakarta
- [6] ASCE Standard ASCE/SEI 7-02, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Revision of ASCE 7-98*, American Society of Civil Engineers (ASCE) and Structural Engineering Institute, January 2002.
- [7] U.S., *Design Basis Tornado and Tornado Missiles for Nuclear Power Plants*, NRC, Regulatory Guide 1.76, Revision 1, March 2007.
- [8] Zorro, Reynaldo Prof. Sistem Proteksi Petir dan Sistem Grounding pada Instalasi Berbahaya. ITB



## ANALISIS KEANDALAN KOMPONEN SISTEM PROSES PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RISET G.A. SIWABESSY

Rahmat Nurcahyo<sup>1</sup>, Winda Sarmita<sup>2</sup>, M. Dachyar<sup>3</sup>, Edison<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

<sup>2</sup>Mahasiswa Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

<sup>4</sup>PRSG, BATAN

e-mail: <sup>1</sup>[rahmat.nurcahyo26@gmail.com](mailto:rahmat.nurcahyo26@gmail.com), <sup>2</sup>[windasarmita@gmail.com](mailto:windasarmita@gmail.com), <sup>3</sup>[mdachyar@yahoo.com](mailto:mdachyar@yahoo.com),

<sup>4</sup>[edisonl@batan.go.id](mailto:edisonl@batan.go.id)

### ABSTRAK

Pemeliharaan peralatan di reaktor nuklir merupakan bagian penting dari manajemen untuk menjaga keselamatan operasi reaktor. Pemeliharaan Reaktor Serbaguna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) saat ini mencakup kegiatan pemeliharaan rutin dan non-rutin. Dalam rangka meningkatkan efektivitas kegiatan pemeliharaan tersebut, dilakukan penelitian berkenaan dengan kegiatan pemeliharaan yang berdasarkan pada keandalan komponen, dimana hasilnya akan digunakan sebagai masukan kepada manajemen pengoperasi reaktor. Penelitian ini dilakukan dengan cara melakukan perhitungan kehandalan terhadap data-data kegagalan komponen pada sistem proses pendingin sekunder RSG-GAS dengan menggunakan program Minitab. Penelitian ini dilakukan pada sistem proses pendingin sekunder dengan menghitung keandalan komponennya untuk digunakan dalam mengukur kinerja kegiatan pemeliharaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen filter merupakan komponen yang nilai keandalannya lebih rendah dibanding komponen lain yaitu antara 41,10% – 46,81%, dengan MTBF 880,85 – 1585,53 jam, lebih rendah dibanding interval waktu *preventive maintenance* saat ini yaitu 2160 jam.

**Kata Kunci:** Pemeliharaan, Sistem Sekunder, Keandalan, Reaktor Riset

### ABSTRACT

*Maintenance of equipment in nuclear reactors is an important part of management to maintain its safety. Maintenance of Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy (RSG-GAS) currently includes routine and non-routine activities. In order to improve the effectiveness of these activities, research regarding maintenance activities based on component reliability was conducted, where the results will be used as input to management of reactor operation. This research was done by using calculation on reliability of failure component data using Minitab. This research was conducted on a secondary cooling process system to measure maintenance activities. The research showed that filter component has a lower reliability value compared than other component which is between 41,10% - 46,81%, with MTBF 880,85 - 1585,53 hours, lower than current preventive maintenance time interval which is 2160 hour.*

**Keywords:** Maintenance, Secondary System, Reliability, Research Reactor

## I. PENDAHULUAN

Keandalan suatu mesin sangat dipengaruhi oleh cara pemeliharaan mesin itu sendiri. Kondisi mesin dan peralatan yang terpelihara merupakan komponen penting dalam manajemen pemeliharaan mesin/peralatan di suatu instalasi. Setiap mesin terdiri dari berbagai jenis komponen penyusunnya, masing-masing komponen memiliki kemungkinan mengalami kerusakan dan pergeseran nilai keandalannya, karena seiring bertambahnya waktu nilai keandalan dari sebuah mesin akan semakin berkurang [1]. Ketidakandalan (*unreliability*) dari instalasi yang beresiko tinggi seperti pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, pabrik kimia, rumah sakit, ataupun reaktor nuklir, selain mempengaruhi keselamatan manusia juga berakibat buruk pada lingkungan.

Konsep keandalan merupakan konsep statistik dan probabilistik, sehingga peninjauannya didasarkan

pada pengalaman operasi sebelumnya. Dengan data operasi ini akan terlihat seberapa jauh keandalan komponen. Sebagaimana sifat statistik, keakuratan analisis ditentukan oleh jumlah data yang terkumpul, semakin besar jumlah data semakin akurat hasil analisis. Untuk menganalisis keandalan komponen-komponen yang dipakai pada RSG-GAS, dilakukan pengumpulan data-data komponen yang beroperasi. Dengan pengelompokan data secara tepat, akan dapat diperoleh: jumlah kegagalan, jumlah *demand* (berapa kali komponen diperlukan beroperasi pada keadaan tertentu), waktu operasi total, waktu siaga total, frekuensi atau lama test, dan frekuensi atau lama pemeliharaan serta perbaikan.

Pada makalah ini akan dibahas tentang analisis keandalan komponen sistem proses pendingin sekunder RSG-GAS yang bertujuan untuk mengukur kinerja kegiatan pemeliharaan yang telah dilakukan. Dari

kehandalan yang telah dihitung, maka akan dapat dilihat apakah pemeliharaan yang ada telah mencukupi ataukah masih perlu ditingkatkan. Analisis kehandalan yang akan diteliti pada makalah ini adalah pada sistem proses pendingin sekunder RSG-GAS.

## 1. Tinjauan Teoritis

### 1.1. Definisi Keandalan

Keandalan (*reliability*) didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan [2]. Keandalan biasa dinyatakan dalam konsep probabilitas menggunakan fungsi *reliability*. Konsep lain yang juga sering digunakan untuk menyatakan keandalan suatu komponen adalah laju kegagalan (*failure rate*,  $\lambda$ ) dan *mean time between failure* (MTBF) [2]. Dalam ilmu keteknikan, keandalan adalah probabilitas bahwa suatu komponen atau sistem akan melakukan fungsi yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu jika digunakan dalam kondisi operasi. Sedangkan definisi standar militer, keandalan adalah probabilitas bahwa item akan melakukan fungsi yang diperlukan tanpa kegagalan di bawah kondisi yang telah ditentukan untuk jangka waktu tertentu. Keandalan umumnya dinyatakan dalam bentuk *Mean Time Between Failure* (MTBF).

Kegiatan pemeliharaan erat kaitannya dengan keandalan. Kegiatan pemeliharaan terkait juga dengan keandalan sistem atau peralatan di reaktor riset yang memiliki resiko tinggi ditujukan untuk mempertahankan tingkat keselamatan, kelancaran proses operasi dan efisiensi proses [3]. Selain itu pemeliharaan ditujukan agar peralatan dapat beroperasi secara optimal dan tahan lama. Dengan adanya pemeliharaan yang baik dan teratur dapat mengurangi terjadinya kerusakan sehingga mengakibatkan peralatan tidak dapat beroperasi dalam jangka waktu lama serta dapat berdampak terjadinya kecelakaan pada reaktor riset yang tentu saja dapat membahayakan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan [3]. Pemeliharaan ini dilakukan pada semua sistem pendingin reaktor, yang diantaranya adalah sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, sistem pendingin darurat serta kolam reaktor. Kegiatan pemeliharaan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) meliputi kegiatan pemeliharaan rutin dan non-rutin, dimana pemeliharaan pada sistem pendingin sekunder dilakukan pada empat bagian yaitu sistem mekanik, sistem instrumentasi, sistem listrik dan sistem proses [4]. Namun demikian, pada RSG-GAS, kegiatan pemeliharaan yang dilakukan sekarang ini masih perlu ditingkatkan efektifitasnya agar kegagalan yang terjadi pada sistem pendingin sekunder dapat diminimalisir [5,6].

### 1.2. Fungsi Keandalan

Metode statistik digunakan untuk menentukan keandalan dengan menggunakan data bagian kegagalan. Sedangkan metode probabilitas digunakan untuk menentukan keandalan sistem yang menggunakan pengetahuan keandalan bagian dan struktur sistem. Distribusi yang umum digunakan untuk

fungsi keandalan adalah eksponensial, Weibull, lognormal, dan distribusi gamma [7].

Menurut Smith [8], fungsi keandalan didefinisikan dalam rumus:

$$R(t) = 1 - F(t) \\ = 1 - \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana  $f(t)$  merupakan fungsi kegagalan,  $R(t)$  merupakan keandalan pada waktu  $t$ , dan  $F(t)$  fungsi distribusi kumulatif [9].

$$R(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$R(t) = \exp \left[ - \int_t^{\infty} \lambda(t) dt \right] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:  $\lambda(t)$  merupakan laju kegagalan pada waktu  $t$

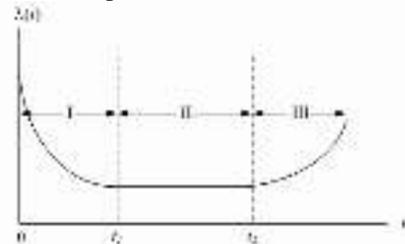
Dari rumusan di atas dapat dikatakan bahwa *reliability function* dan CDF merepresentasikan daerah di bawah kurva  $f(t)$ . Karena luas daerah di bawah kurva adalah sama dengan satu, maka probabilitas keandalan dan kegagalan dapat dinyatakan:

$$0 \leq R(t) \leq 1 \quad \quad \quad 0 \leq f(t) \leq 1$$

Dimana probabilitas keandalan berkisar antara 0-1, atau bahwa suatu komponen dikatakan dapat menjalankan fungsinya dengan baik pada periode waktu tertentu adalah ketika nilai keandalannya mendekati atau sama dengan 1 (100%).

### 1.3. Laju Kegagalan dan MTBF

Menurut Ebeling [2], fungsi kegagalan suatu sistem atau komponen mengikuti kurva yang biasa disebut dengan *bathtub curve* atau kurva bak mandi yang dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 1.1. Kurva Bak Mandi [2]

Pada gambar 2.1. dapat dilihat bahwa *bathtub curve* atau kurva bak mandi terdiri dari tiga fase, yaitu:

#### I. Fase *Burn-in*

Fase ini terjadi antara periode 0 sampai  $t_1$ . Kurva menunjukkan penurunan laju kerusakan (*failure rate*) dengan bertambahnya waktu. Laju kerusakan seperti ini disebut juga dengan *Decreasing Failure Rate* (DFR). Kerusakan umumnya disebabkan karena kesalahan dalam proses manufaktur seperti kontrol kualitas yang rendah, desain peralatan yang kurang sempurna, kesalahan pengelasan dan lain sebagainya.

#### II. Fase *Useful life*

Fase ini terjadi antara periode  $t_1$  sampai  $t_2$ . Kurva menunjukkan laju kerusakan yang cenderung konstan atau tetap, sehingga fase ini disebut juga dengan *Constant Failure Rate* (CFR). Kerusakan yang terjadi bersifat acak dan dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan manusia.

#### III. Fase *Wear-out*

Fase ini terjadi setelah periode  $t_2$ . Kurva menunjukkan peningkatan laju kerusakan dengan bertambahnya waktu sehingga fase ini disebut juga dengan *Increasing Failure Rate* (IFR). Kerusakan umumnya disebabkan oleh keausan peralatan, *fatigue*, korosi.

Menurut Ebeling [2], laju kegagalan atau *failure rate*,  $\lambda$ , adalah rasio dari total jumlah kegagalan dengan total waktu operasi. *Failure rate* menunjukkan seberapa sering suatu item mengalami kegagalan pada periode waktu tertentu. *Failure rate* dapat dinyatakan dalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$\lambda(t) = r/T(t) \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan *Mean time between failure* (MTBF) adalah rasio dari total waktu operasi dengan total jumlah kegagalan. MTBF dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$MTBF = \frac{T(t)}{r} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:  $r$  adalah jumlah kegagalan  
 $T(t)$  adalah jumlah total waktu operasi

#### 1.4. Distribusi Keandalan

Menurut priyatna [10], nilai keandalan suatu komponen atau sistem merupakan nilai kemungkinan/probabilitas dari suatu komponen atau sistem untuk dapat memenuhi fungsinya dalam kurun waktu dan kondisi tertentu yang sudah ditetapkan. Untuk itu pengevaluasian keandalan akan banyak berhubungan distribusi probabilitas dengan waktu sebagai variabel random.

Fungsi keandalan untuk distribusi eksponensial adalah:

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(u)du = e^{-\lambda t} \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Fungsi keandalan dari sebuah komponen yang memiliki distribusi normal dapat ditulis sebagai:

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2} dt = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.8)$$

Fungsi keandalan untuk distribusi weibull adalah:

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

#### 1.5. Teori Klasifikasi ABC Pareto

Analisa pareto bertujuan untuk mengurutkan dan memprioritaskan penyebab atau hasil secara sistematis sehingga dapat membantu analisis dalam memvisualisasikan penyimpangan distribusi [11].

Analisis ABC juga sering dikenal dengan istilah PARETO 80/20. Analisis PARETO awalnya digunakan dalam sistem manajemen rantai pasok dengan membagi atau mengelompokkan barang menjadi 3 (tiga), yaitu A, B dan C.

1. Kelas A merupakan kelompok barang dengan jumlah item sekitar 20% tetapi mempunyai nilai investasi sekitar 80% dari nilai investasi total.

2. Kelas B merupakan kelompok barang dengan jumlah item sekitar 30% tetapi mempunyai nilai investasi sekitar 15% dari nilai investasi total.
3. Kelas C merupakan kelompok barang dengan jumlah item sekitar 50% tetapi mempunyai nilai investasi sekitar 5% dari nilai investasi total.

Dengan menggunakan teori ABC klasifikasi pareto ini, akan diperoleh komponen kritis untuk dilakukan analisis kehandalan selanjutnya.

## II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini berupa analisis perhitungan yang diambil dari data historis (rekaman) pemeliharaan di sistem pendingin sekunder. Secara umum metodologi penelitian yang dilakukan adalah dengan cara melakukan perhitungan kehandalan terhadap data-data kegagalan komponen pada sistem proses pendingin sekunder RSG-GAS. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program komputer minitab.

### 3.1 Sumber Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi:

1. Daftar kegiatan pemeliharaan dan interval waktu pelaksanaannya lima tahun terakhir.
2. Diagram Instrumentasi dan Proses.
3. Data dari lembar Pemeriksaan Perbaikan dan Instruksi Kerja (PPIK) Sistem Pendingin Sekunder selama lima tahun terakhir.
4. Data jam oprasi dari Laporan Operasi RSG-GAS lima tahun terakhir.
5. Diskusi dengan Kepala Bidang Perawatan Reaktor, Teknisi Perawatan, Reaktor dan Supervisor Perawatan Reaktor.
6. Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS Tahun 2008.

### 3.2 Penentuan Komponen Kritis

Untuk menentukan komponen kritis dilakukan dengan metode klasifikasi ABC menggunakan metode Pareto. Penggunaan klasifikasi ABC adalah dengan mengurutkan jumlah kegagalan komponen dari yang terbesar sampai terkecil dan kemudian menggunakan persentasi kumulatif jumlah kegagalan. Dari klasifikasi ini akan diperoleh komponen kritis yang akan dilakukan analisis kehandalan selanjutnya.

### 3.3 Perhitungan Laju Kegagalan, MTBF, dan Keandalan

Perhitungan laju keandalan dan MTBF menggunakan persamaan (2.5) dan (2.6). sedangkan perhitungan untuk keandalan diawali dengan penentuan distribusi yang sesuai. Penentuan distribusi dimulai dengan penentuan *Time Between Failure* (TBF). TBF dihitung berdasarkan tanggal terjadinya kerusakan dikurangi tanggal sebelum terjadinya kerusakan. Penentuan distribusi yang sesuai dengan pola data TBF menggunakan software minitab versi 17 dengan metode Anderson darling. Distribusi yang terpilih akan digunakan dalam perhitungan keandalan dengan menggunakan rumus pada persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9).

### III. HASIL PENELITIAN

#### 1.6. Hasil penentuan Komponen Kritis

Di RSG-GAS, sistem proses pendingin sekunder terdiri dari 3 jalur yaitu PA01, PA02 dan PA03. Penentuan komponen kritis dilakukan untuk masing-masing jalur (PA01, PA02, PA03) dari sistem proses pendingin sekunder. Tabel 4.1 menyajikan persen jumlah kerusakan tiap komponen di jalur 1 (PA01) dimana persen kerusakan tersebut didapatkan dari perbandingan jumlah kerusakan dalam satu komponen dengan total jumlah kerusakan komponen pada PA01. Tabel juga menunjukkan informasi mengenai persen kumulatif untuk menentukan kategori pareto tiap komponen.

**Tabel 4.1** Klasifikasi Komponen di PA01

Komponen	Jumlah Kerusakan	Jumlah Kerusakan (%)	Kumulatif Jumlah Kegagalan (%)	Kategori Pareto
BT001	10	20.83	20.83	A
AH01	6	12.50	33.33	A
AH02	6	12.50	45.83	A
AP001	5	10.42	56.25	A
AA10	2	4.17	60.42	A
AA11	2	4.17	64.58	A
AA14	2	4.17	68.75	A
AA20	2	4.17	72.92	A
AA22	2	4.17	77.08	A
AH03	2	4.17	81.25	A
AA03	1	2.08	83.33	B
AA05	1	2.08	85.42	B
AA12	1	2.08	87.50	B
AA23	1	2.08	89.58	B
AA24	1	2.08	91.67	B
AA25	1	2.08	93.75	B
AA26	1	2.08	95.83	C
AA31	1	2.08	97.92	C
AA43	1	2.08	100.00	C
Total	48			

Sama halnya dengan komponen di PA01, Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 juga menyajikan persen jumlah kerusakan tiap komponen di jalur 2 (PA02) dan jalur 3 (PA03) dimana persen kerusakan tersebut didapatkan dari perbandingan jumlah kerusakan dalam satu komponen dengan total jumlah kerusakan komponen pada PA02 dan PA03.

**Tabel 4.2** Klasifikasi Komponen di PA02

Komponen	Jumlah Kerusakan	Jumlah Kerusakan (%)	Kumulatif Jumlah Kerusakan (%)	Kategori
BT001	18	39.13	39.13	A
AP001	5	10.87	50.00	A
AA10	4	8.70	58.70	A
AA22	3	6.52	65.22	A
AH01	3	6.52	71.74	A
AA12	2	4.35	76.09	B
AA14	2	4.35	80.43	B
AH02	2	4.35	84.78	B
AA03	1	2.17	86.96	B
AA11	1	2.17	89.13	B
AA23	1	2.17	91.30	B
AA24	1	2.17	93.48	C
AA25	1	2.17	95.65	C

Komponen	Jumlah Kerusakan	Jumlah Kerusakan (%)	Kumulatif Jumlah Kerusakan (%)	Kategori
AH03	1	2.17	97.83	C
Total	45			

**Tabel 4.3** Klasifikasi Komponen di PA03

Komponen	Jumlah Kegagalan	Jumlah Kegagalan (%)	Kumulatif Jumlah Kegagalan (%)	Kategori
BT001	7	58.33	58.33	A
AP001	2	16.67	75.00	B
AA13	2	16.67	91.67	B
AA11	1	8.33	100.00	C
Total	12			

#### 1.7. Hasil Penentuan Distribusi

Penentuan distribusi dilakukan terhadap pola distribusi pada *Time Between Failure* (TBF). Dengan menggunakan software minitab versi 17 pada metode anderson darling dan uji hipotesis, maka didapatkan pola distribusi TBF untuk komponen sistem pendingin sekunder yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

**Tabel 4.4** Rekapitulasi Distibusi Komponen Kritis

Komponen Kritis	Anderson Darling (adj)			Distribusi Terpilih
	Normal	Eksponensial	Weibull	
Jalur 1-PA01				
BT001	1,277	1,454	0,648	Weibull
AH01	0,291	0,269	0,280	Eksponensial
AH02	0,325	0,224	0,228	Eksponensial
AP001	0,654	0,459	0,201	Weibull
AA10	0,250	0,829	0,365	Normal
AA11	0,250	0,451	0,365	Normal
AA14	0,250	0,602	0,365	Normal
AA20	0,250	0,649	0,365	Normal
AA22	0,250	0,642	0,365	Normal
AH03	0,250	0,407	0,365	Normal
Jalur 2-PA02				
BT001	0,695	0,449	0,382	weibull
AP001	0,332	0,432	0,213	weibull
AA10	0,451	0,621	0,560	Normal
AA22	0,210	0,384	0,428	Normal
AH01	0,481	1,083	0,691	Normal
Jalur 3-PA03				
BT001	0,157	0,824	0,266	Normal

#### 1.8. Perhitungan Laju Kegagalan, MTBF, dan Keandalan

Berdasarkan distribusi terpilih pada Tabel 4.4, maka didapatkan nilai laju kegagalan ( $\lambda$ ), MTBF, dan keandalan. Perhitungan laju kegagalan, MTBF, dan keandalan untuk komponen kritis di sistem proses pendingin sekunder dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

**Tabel 4.5** Data Laju Kegagalan ( $\lambda$ ), MTBF, R(t) pada Sistem Proses Pendingin Sekunder

Komponen	laju kegagalan (Kegagalan/jam)	MTBF (jam)	Nilai Keandalan R(t)	Nilai Keandalan R(t) dalam %
Jalur 1-PA01				
AP001	0,000315	3171,05	0,8034	80,34%

Komponen	laju kegagalan (Kegagalan/jam)	MTBF (jam)	Nilai Keandalan R(t)	Nilai Keandalan R(t) dalam %
AA10	0,000126	7927,63	0,7231	72,31%
AA11	0,000126	7927,63	0,9549	95,49%
AA14	0,000126	7927,63	0,9985	99,85%
AA20	0,000126	7927,63	0,9998	99,98%
AA22	0,000126	7927,63	0,7631	76,31%
BT001	0,000631	1585,53	0,4681	46,81%
AH01	0,000378	2642,54	0,1949	19,49%
AH02	0,000378	2642,54	0,1949	19,49%
AH03	0,000126	7927,63	0,7359	73,59%
Jalur 2-PA02				
AP001	0,000315	3171,05	0,8463	84,63%
AA10	0,000252	3963,82	0,9545	95,45%
AA22	0,000189	5285,09	0,8631	86,31%
BT001	0,001135	880,85	0,4115	41,15%
AH01	0,000189	5285,08	0,9999	99,99%
Jalur 3-PA 03				

Komponen	laju kegagalan (Kegagalan/jam)	MTBF (jam)	Nilai Keandalan R(t)	Nilai Keandalan R(t) dalam %
BT001	0,000441	2265,03	0,8848	88,48%

### 1.9. Perhitungan Keandalan Komponen Berdasarkan Variasi Interval Waktu

Simulasi variasi keandalan terhadap interval waktu dilakukan untuk mengetahui waktu pemeliharaan yang optimal untuk tingkat keandalan yang diinginkan.

Tingkat keandalan komponen kritis di PA01 untuk beberapa interval waktu dapat dilihat pada Tabel 4.6. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa simulasi variasi interval waktu yang dilakukan pada komponen di PA01 dimulai dari 2 minggu, 1 bulan s/d 6 bulan.

**Tabel 4.6** Tingkat Keandalan Komponen Kritis di PA01 berdasarkan Interval Waktu

Interval Waktu	AP001	AA10	AA11	AA14	AA20	AA22	BT001	AH01	AH02	AH03
336 jam (2 minggu)	0,8868	0,7491	0,9650	0,9988	0,9999	0,7705	0,8339	0,8806	0,8806	0,7908
720 jam (1 bulan)	0,8034	0,7231	0,9549	0,9986	0,9998	0,7631	0,7216	0,7615	0,7615	0,7858
1440 jam (2 bulan)	0,6852	0,6713	0,9296	0,9979	0,9997	0,7488	0,5736	0,5799	0,5799	0,7763
2160 jam (3 bulan)	0,5943	0,6159	0,8947	0,9970	0,9994	0,7340	0,4681	0,4416	0,4416	0,7666
2880 jam (4 bulan)	0,5207	0,5580	0,8488	0,9957	0,9989	0,7189	0,3879	0,3363	0,3363	0,7566
3600 jam (5 bulan)	0,4593	0,4988	0,7911	0,9940	0,9981	0,7033	0,3249	0,2561	0,2561	0,7463
4320 jam (6 bulan)	0,4073	0,4397	0,7222	0,9916	0,9968	0,6874	0,2744	0,1950	0,1950	0,7359

Tingkat keandalan komponen kritis di PA02 untuk beberapa interval waktu dapat dilihat pada Tabel 4.7. Pada tabel tersebut merupakan simulasi interval waktu yang dilakukan pada komponen di PA02 dimulai dari 2 minggu, 1 bulan s/d 6 bulan.

**Tabel 4.7** Tingkat Keandalan Komponen Kritis di PA02 berdasarkan Interval Waktu

Interval Waktu	AP001	AA10	AA22	BT001	AH 01
336 jam (2 minggu)	0,9120	0,9588	0,8727	0,9183	1
720 jam (1 bulan)	0,8463	0,9545	0,8631	0,8003	1
1440 jam (2 bulan)	0,7508	0,9455	0,8437	0,5866	1
2160 jam (3 bulan)	0,6749	0,9352	0,8225	0,4110	1
2880 jam (4 bulan)	0,6113	0,9234	0,7996	0,2787	1
3600 jam (5 bulan)	0,5567	0,9100	0,7750	0,1841	1
4320 jam (6 bulan)	0,5090	0,8949	0,7489	0,1189	0,9999

Tingkat keandalan komponen kritis di PA03 hanya pada filter (BT01) untuk beberapa interval waktu dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Gambar 3.9. Pada tabel dan gambar tersebut dapat dilihat bahwa simulasi variasi interval waktu yang dilakukan pada komponen di PA03 dimulai dari 2 minggu, 1 bulan s/d 6 bulan.

**Tabel 4.8** Tingkat Keandalan Komponen Kritis di PA03 berdasarkan Interval Waktu

Interval Waktu (jam)	BT001
336 jam (2 minggu)	0,9633
720 jam (1 bulan)	0,9521
1440 jam (2 bulan)	0,9240
2160 jam (3 bulan)	0,8848
2880 jam (4 bulan)	0,8331
3600 jam (5 bulan)	0,7684
4320 jam (6 bulan)	0,6916

## IV. PEMBAHASAN

### 1.10. Analisis Penentuan Komponen Kritis

Berdasarkan teori Pareto, komponen kritis di PA01 yang akan dianalisis ke tahap berikutnya ada 10 komponen, komponen kritis di PA02 yang akan dianalisis ke tahap berikutnya ada 5 komponen, dan komponen kritis di PA03 yang akan dianalisis hanya 1 komponen.

Secara umum dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode pareto, dari 37 komponen pada ketiga jalur yang mengalami kerusakan selama kurun waktu 2012 s/d 2016, diperoleh komponen kritis sejumlah 16 komponen. Komponen kritis ini merupakan komponen yang mengalami kerusakan terbanyak sehingga dianggap lebih memerlukan analisis lanjutan pada tahap berikutnya.

### 1.11. Analisis Perhitungan Keandalan

Perhitungan keandalan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar probabilitas komponen dapat melaksanakan fungsinya dalam waktu tertentu. Berdasarkan teori dari Smith [11], dijelaskan bahwa

probabilitas keandalan berkisar antara 0-1, dimana suatu komponen dikatakan dapat menjalankan fungsinya dengan baik pada periode waktu tertentu adalah ketika nilai keandalannya mendekati atau sama dengan 1 (100%).

Sistem pendingin sekunder RSG-GAS merupakan sistem yang tidak terkait langsung dengan keselamatan sehingga akan memiliki nilai keandalan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan komponen lainnya seperti sistem pendingin primer reaktor, sistem proteksi radiasi dan yang lainnya. Bahkan menurut US-DOE (salah satu badan pengawas tenaga nuklir di Amerika Serikat), sistem pendingin sekunder reaktor riset berjenis kolam seperti pada RSG-GAS termasuk dalam kelas keselamatan non nuklir. Hal ini berarti bahwa sistem pendingin sekunder dapat didesain dengan menggunakan standar keselamatan industri konvensional pada umumnya [12]. Pembagian kelas keselamatan untuk reaktor riset ini juga telah digunakan di negara lainnya seperti Kanada dan diterapkan pada beberapa reaktor riset seperti reaktor riset HANARO (Korea Selatan) dan Jordan Research and Training Reactor (JRTR) di Jordan [13].

Oleh sebab itu, untuk sistem pendingin sekunder RSG-GAS akan digunakan standar industri pada umumnya. Berdasarkan Standar Industri Indonesia (SII), nilai keandalan untuk kelas industri di Indonesia adalah sebesar 70%. Nilai ini akan digunakan dalam analisis dan pembahasan berikutnya untuk seluruh komponen pada sistem pendingin sekunder RSG-GAS.

Nilai keandalan yang paling rendah (< 70%) diantara 16 komponen kritis di sistem pendingin sekunder adalah filter di jalur 1 dan 2, serta menara pendingin di jalur 1. Nilai keandalan filter di jalur 1 adalah 0,4681 (46,81%) dan di jalur 2 adalah 0,4110 (41,10%), dengan interval waktu pemeliharaan 2160 jam. Kemudian untuk menara pendingin di jalur 1 yaitu 0,1949 (19,49%). Sedangkan nilai keandalan untuk komponen kritis lainnya berada di atas 70% yang menandakan bahwa interval waktu pemeliharaan saat ini masih efektif.

Untuk nilai keandalan yang berada di bawah 70%, akan dilakukan simulasi variasi interval waktu untuk mendapatkan nilai keandalan di atas 70%.

### 1.12. Analisis Simulasi Variasi Waktu

Berdasarkan simulasi variasi interval waktu pemeliharaan di jalur 1 dan 2 yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7, dapat diketahui bahwa untuk meningkatkan nilai keandalan komponen filter minimal 70%, maka interval waktu pemeliharaan sebaiknya menjadi 720 jam. Begitu juga untuk menara pendingin di jalur 1, interval waktu pemeliharaan sebaiknya menjadi 720 jam. Perubahan interval waktu pemeliharaan saat ini dengan hasil dari simulasi dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1** Perbandingan PM saat ini dengan Hasil Simulasi Nilai Keandalan

komponen	PM Saat ini		Simulasi Nilai keandalan	
	Interval Waktu (jam)	Nilai Keandalan	Interval Waktu (jam)	Nilai Keandalan
Jalur 1-PA01				
AP001	720	0,8034 (80,34%)	720	0,8034 (80,34%)
AA20	720	0,9998 (99,98%)	720	0,9998 (99,98%)
AA22	720	0,7631 (76,31%)	720	0,7631 (76,31%)
BT01	2160	0,4681 (46,81%)	720	0,7216 (72,16%)
AH01	4320	0,1949 (19,49%)	720	0,7615 (76,15%)
AH02	4320	0,1949 (19,49%)	720	0,7615 (76,15%)
AH03	4320	0,7359 (73,59%)	4320	0,7359 (73,59%)
Jalur 2-PA02				
AP001	720	0,8463 (84,63%)	720	0,8463 (84,63%)
AA10	720	0,9545 (95,45%)	720	0,9545 (95,45%)
AA22	720	0,8631 (86,31%)	720	0,8631 (86,31%)
BT01	2160	0,4110 (41,10%)	720	0,8003 (80,03%)
AH01	4320	0,9999 (99,99%)	4320	0,9999 (99,99%)
Jalur 3-PA03				
BT01	2160	0,8848 (88,48%)	2160	0,8848 (88,48%)

Dengan perubahan interval waktu untuk mendapatkan nilai keandalan 70%, maka kegiatan pemeliharaan yang dilakukan pada komponen filter dan menara pendingin hendaknya dilakukan tiap 720 jam (1 bulan). Dengan seringnya dilakukan pemeliharaan sesuai dengan nilai keandalannya, diharapkan jumlah kegagalan pada komponen tersebut dapat berkurang, sehingga dapat mengurangi gangguan terhadap kinerja sistem pendingin sekunder.

## V. KESIMPULAN

Dalam Penelitian ini, telah dilakukan analisis keandalan sistem proses pendingin sekunder di RSG-GAS. Dari hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Komponen kritis yang dilakukan analisis lebih lanjut pada sistem pendingin sekunder berjumlah 16 komponen.
2. Dari hasil perhitungan keandalan, komponen filter dan menara pendingin mempunyai nilai yang paling kecil (kurang dari 70%) dibandingkan komponen lainnya. Keandalan untuk filter di jalur 1 adalah 46,81%, menara pendingin 1 (AH01) adalah 19,49%, dan menara pendingin 2 (AH02) adalah 19,49%. Sedangkan keandalan untuk filter di jalur 2 adalah 41,10%.
3. Berdasarkan hasil simulasi perhitungan keandalan diantaranya adalah interval waktu filter di jalur 1 dan 2 berubah dari 2160 jam menjadi 720 jam dengan keandalan 72,16%, kemudian untuk interval waktu menara pendingin 1 dan 2 di jalur

1 dari 4320 jam menjadi 720 jam dengan keandalan 80,03%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Kumar, Crocker. J, dan Chitra. T. 2006. *Reliability And Six Sigma*. Springer. New York
- [2]. Ebeling, C.E. (1997). *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, McGraw-Hill, Singapore.
- [3]. Pujiarta, Santosa; Irawan, Bambang Cony. (2008). *Pemeliharaan Sistem Pendingin Primer Je 01 Di Reaktor Ga. Siwabessy*; Seminar Nasional IV Sdm Teknologi Nuklir Yogyakarta, 25-26 Agustus 2008 Issn 1978-0176
- [4]. Tim Penyusun BATAN. (2015). *Program Perawatan Sistem RSG.GAS Nomor 001.001/RN 00 02/ RSG 3Rev.4*. 6 April 2015, Pusat Reaktor Serba Guna, BATAN.
- [5]. Catur, AEP Saepudin; Djunaidi; & Andriyanto, Yayan. (2009). *Kajian Perawatan Menara Pendingin Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy*. Seminar Nasional Teknologi Nuklir. ISSN 1978-0176.
- [6]. Tim Penyusun BATAN. (2016). *Laporan Operasi RSG-GAS Nomor Ident. RSG.OR.01.04.44.16, Rev. 0*. Pusat Reaktor Serba Guna, BATAN.
- [7]. Rausand, Marvin & Hoyland, Arnljot. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [8]. Smith, David J.(1993). *Reliability, maintainability, and risk: practical methods for Engineers*; Fourth edition; Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford.
- [9]. Dhillon, B.S. (2002). *Enginnering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press LLC, 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida.
- [10]. Priyanta, D. (2000). *Keandalan dan Perawatan*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [11]. Kolarik. (1999). *Application of Pareto*. International Journal of advanced scientific and tehctical research. Vol. 5.
- [12]. Kim, Tae. (2016). *Safety Clasification of System, Structure, and Componentfor Pool Type Resesrch Reactor*. Nuclear Energy and Technology 77, 201–213.
- [13]. Park, C. (2015). *Safety classification of research reactors JRTR case*. Proceedings of the KPVP Conference, November 19 - 20, 2015. Gimcheon, Korea.



## ANALISIS NUMERIK SIMULASI KEBAKARAN PADA FASILITAS HDR T-51 MENGGUNAKAN GAS PROPAN DENGAN PROGRAM KOMPUTER SYLVIA

**Rahmat Edhi Harianto**

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir – BAPETEN

email: [r.eharianto@bapeten.go.id](mailto:r.eharianto@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Dalam beberapa studi literatur diperoleh fakta bahwa kebakaran menjadi penyumbang signifikan terhadap frekuensi kerusakan teras. Oleh karena itu, penilaian risiko kejadian bahaya akibat kebakaran menjadi hal yang penting dalam analisis keselamatan nuklir. Pada perhitungan numerik ini akan disimulasikan bahaya kebakaran pada fasilitas uji bahaya kebakaran reaktor air berat (*Heiss-Dampf Reactor [HDR]*) yang berlokasi di Jerman menggunakan paket program komputer SYLVIA. SYLVIA adalah paket perangkat lunak untuk mensimulasi kejadian kebakaran pada instalasi nuklir yang terhubung dengan jaringan ventilasi, dengan pendekatan model dua zona, dimana zona bagian atas diasumsikan mengandung asap dan udara yang lebih panas. Tujuan perhitungan numerik ini untuk mengetahui sejauh mana keakuratan paket program komputer SYLVIA dibandingkan dengan paket program komputer sejenis lainnya, yaitu CFAST maupun pengukuran langsung menggunakan instrumen termokopel. Simulasi ini menggunakan model T51.23 yang terbagi dalam tujuh level kompartemen dengan bahan bakar berupa gas propan yang dicampur dengan 10 persen udara, dimana proses kebakaran terjadi di bagian bawah fasilitas uji. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan prediksi temperatur dan konsentrasi gas, serta fraksi massa partikel karbon (*soot*) pada model T51.23 menggunakan paket komputer SYLVIA memiliki nilai yang relatif serupa dengan hasil yang diperoleh dengan paket komputer CFAST maupun pengukuran menggunakan peralatan instrumen alat ukur. SYLVIA dapat dipertimbangkan sebagai perangkat lunak alternatif dalam mensimulasi penilaian bahaya kebakaran di instalasi nuklir.

**Kata kunci:** Fasilitas HDR, program komputer SYLVIA, simulasi kebakaran

### ABSTRACT

*Some literature study informed that fire events are major contributor for core damage frequency. Therefore, fire hazard risk assessments are become important aspect for nuclear safety analysis. Fire hazard will be simulated in numerical calculation on (Heiss-Dampf Reactor [HDR]) in Germany (The test facility of heavy water reactor for fire hazard) using SYLVIA software. The SYLVIA (Software System for Studying Fire, Ventilation and Airborne Contamination) software package simulates the consequences of a fire with a ventilation network. SYLVIA is a two-zone model. It is used to simulate a fire, with the upper zone containing hot gases and smoke. The purpose of this calculation are to assess the accuracy of SYLVIA software compare with other similar computer program namely CFAST and direct measurement using thermocouples instrument. This simulation uses T51.23 that are divided in to seven level compartments with propane gas fuel mixed with 10% of air, where fire occurred in the lower part of the building containment. In general, it can be assumed that temperature, gas concentrations, and carbon mass particulate (soot) fraction on T51.23 model prediction calculations with SYLVIA have relatively similar result compare with CFAST result and direct measurement using thermocouples instrument. SYLVIA can be considered as another tool to simulate fire hazard assessment in nuclear installations.*

**Keywords:** fire simulation, HDR Facility, SYLVIA computer code

## I. PENDAHULUAN

Kebakaran yang terjadi di PLTN memiliki potensi untuk mengganggu bahkan merusak fungsi yang diperlukan oleh sistem yang penting untuk keselamatan. Oleh karena itu, penilaian resiko kejadian bahaya kebakaran adalah sesuatu yang penting dalam analisis keselamatan nuklir. Dalam beberapa studi literatur diperoleh fakta bahwa kebakaran adalah penyumbang signifikan terhadap frekuensi kerusakan teras. Pada desain PLTN lama menyumbang  $10^{-3}$  hingga  $10^{-5}$  kejadian per tahun, sementara pada desain PLTN baru sekitar  $10^{-5}$  hingga  $10^{-7}$  kejadian per tahun [1].

Makalah ini akan menyajikan metode melakukan analisis bahaya kebakaran pada reaktor di Jerman berjenis air berat (HDR). Perhitungan analisis bahaya kebakaran pada instalasi tersebut menggunakan SYLVIA code, perangkat lunak computer yang dibuat oleh IRSN-Prancis, menggunakan asumsi model dua zona. Hasil perhitungan menggunakan program komputer SYLVIA lalu dibandingkan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan peneliti sebelumnya menggunakan program komputer CFAST pada instalasi yang sama (Jason E. Floyd, 2000) [2][3], dan pengukuran langsung menggunakan termokopel yang dilakukan oleh peneliti

Nowlen, 1995 dalam penelitian simulasi bahaya kebakaran [4].

Tujuan makalah ini untuk mengetahui keakuratan program komputer *SYLVIA* dibandingkan dengan program komputer yang sudah lebih dahulu digunakan (*CFAST*) agar *SYLVIA* dapat dipertimbangkan sebagai perangkat lunak alternatif dalam mensimulasi penilaian bahaya kebakaran di instalasi nuklir.

## II. POKOK BAHASAN

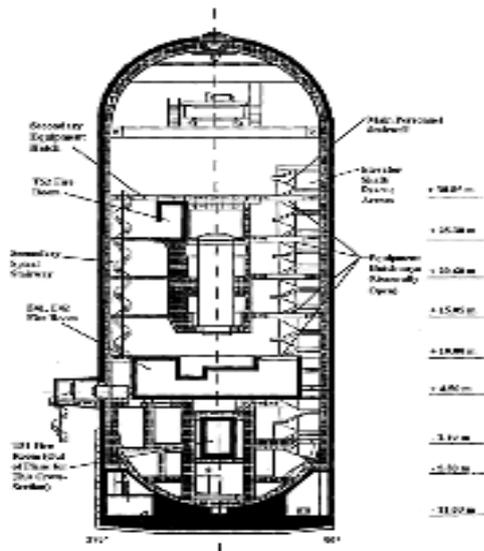
### 2.1 Ringkasan Fasilitas

Fasilitas *HDR*, pada Gambar 1, adalah gedung pengungkung reaktor nuklir di Jerman yang telah didekomisioning. Volume gedung lebih kecil dibandingkan dengan gedung pengungkung reaktor di Amerika pada umumnya, yang memiliki banyak fitur penting untuk program penelitian pengungkung.

Gedung *HDR* berbentuk silinder dengan diameter  $\pm 20$  m, tinggi 50 m, dimana pada bagian atas berbentuk kubah radius 10 m sehingga total tinggi bangunan sekitar 60 m. Tinggi bangunan ini seperti lazimnya tinggi gedung pengungkung reaktor di Eropa. Pada bagian dalam gedung dibagi menjadi 8 tingkat dimana setiap tingkat terbagi lagi menjadi kompartemen yang lebih kecil.

Fasilitas uji *HDR* memiliki 60-70 kompartemen, yang terhubung dengan beragam rute aliran, meliputi jalur pintu (*doorways*), jalur pipa (*pipe runs*), jalur kabel (*cable trays*), pintu kecil (*hatches*) dan tangga (*staircases*).

Tiga jalur vertikal permanen dan dua jalur vertikal fleksibel, tersedia dalam bentuk lift, dua tangga dan dua set pintu kecil yang beroperasi sepanjang jarak aksial gedung yang dapat di buka/tutup untuk mengubah rute aliran di setiap tingkat. Sebagian besar peralatan asli dari sistem penyuplai uap nuklir masih tersedia di fasilitas ini, termasuk bejana reaktor, pipa primer dan sekunder, pompa, sambungan listrik dan sistem ventilasi dan exhaust.



Gambar 1. Lokasi fasilitas uji dan fasilitas *HDR*

Total volume bebas fasilitas adalah  $11.000 \text{ m}^3$  dimana kubah berisi  $4.800 \text{ m}^3$  di atas dek pengoperasian. Pengungkung *HDR*, kompartemennya

dan material struktur internal, bukaan aliran katup dan data terkait lainnya didokumentasikan oleh Schall, 1982.

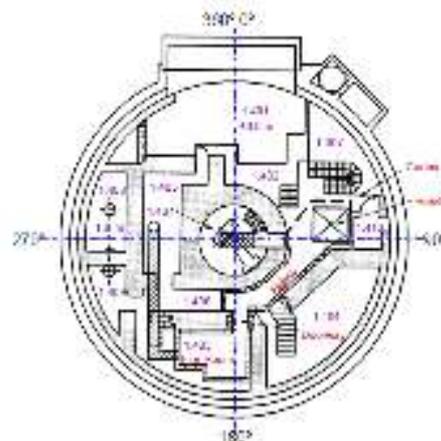
### 2.2 Denah ruang kebakaran (*T51 Fire Rooms*)

Gambar 2 menunjukkan potongan melintang dari 1.400 tingkat dan mengindikasikan lokasi ruang-ruang tersebut yang terdiri dari ruang kebakaran dengan pintu sempit, lorong panjang yang membungkus dinding pelindung bejana reaktor, dan area tertutup ditengah, dibawah pintu ruang perawatan di sebelah tangga utama. Tabel 1 di bawah berisi data geometris kompartemen. Ruang kebakaran, memiliki tampang lintang vertikal antara garis  $0-180^\circ$  dan tampang lintang horizontal pada ketinggian  $+0.0$  m diberikan pada Gambar 3, terletak dalam ruang 1.405.

Tabel 1. T51 Fire Compartment Dimensions

Compartment	Height (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Doorway (m wide x m tall)	Hatch (m x m)
Fire room	2.750	9.66	26.58	1.01x1.975	n/a
Doorway	1.975	1.51	2.98	1.01x1.975	n/a
Hallway	2.485	11.16	22.15	1.80x2.485	n/a
Corridor	5.350	11.83	68.29	7.40x0.50	2.3x2.0

Lantai, dinding dan langit-langit ruang kebakaran dilapisi oleh bata tahan api Ytong setebal 25 cm. Langit-langit, yang terpapar asap kebakaran langsung, memiliki perlindungan tambahan dalam bentuk lapisan Alsiflex setebal 3 cm, bahan keramik tahan api. Lantai ruang 1.405 di bawah bata tahan api Ytong terdiri dari 1 m lapisan beton yang dicat tebal 1.5mm. Sepanjang dinding ruang kebakaran berhadapan pintu kecil terdapat 6 pembakar gas (*gas burners*) yang digunakan untuk uji simulasi kebakaran. Pembakar gas terletak 0.675m di atas lantai ruang 1.405 atau 0.425 di atas lapisan bata.



Gambar 2. Karakteristik lantai ruang kebakaran (Level 1.400)

### 2.3 Sumber Kebakaran T.51

Sumber api pada uji T51 menggunakan gas propan dengan laju alir konstan melalui pembakar gas yang terletak sepanjang dinding ruang kebakaran, yang diletakkan berhadapan dengan pintu tempat ruang kebakaran. Setiap pembakar (*burner*) terletak 0.625m di atas lantai ruang kebakaran. Sebelum diinjeksikan kedalam pembakar, gas propan dicampur dengan 10%

udara berlebih, untuk memastikan pembakaran gas propan yang sempurna.

#### 2.4 Perangkat lunak SYLVIA

Paket piranti lunak SYLVIA (Software System for Studying Fire, Ventilation and Airborne Contamination) mensimulasikan konsekuensi kebakaran di fasilitas industri yang terkoneksi jaringan ventilasi. SYLVIA menghitung proses kebakaran, perpindahan gas panas dan debu, perpindahan aerosol radioaktif, sumbatan saringan, dan semua kerusakan yang disebabkan oleh peralatan kebakaran seperti pintu tahan api (fire door) dan dampers.

SYLVIA termasuk dalam kelompok perangkat lunak dengan model 2 zona, dimana pada SYLVIA terbagi menjadi sejumlah angka volume kontrol yang ditetapkan dimana karakteristik variabel ambien (tekanan, suhu, komposisi gas, dan sebagainya) diasumsikan seragam pada waktu tertentu. Volume kontrol ini terhubung dengan beragam model komponen ventilasi yang mewakili ventilasi alami maupun mekanis. Korelasi pertukaran massa dan panas (antar zona, percikan api dan dinding) meningkatkan persamaan kesetimbangan energi dan massa di tiap zona.

### III. MODEL PERHITUNGAN

#### 3.1 Pemodelan bangunan HDR

Bangunan fasilitas HDR dimodelkan, seperti dalam Gambar 3, yang merupakan kombinasi model B dan model D untuk uji T51.23. Dua model pertama (A dan B) menduplikasi kegiatan yang telah diselesaikan pada model T51 sebelumnya (Floyd,dkk, 1997b). Dua model terakhir (C dan D) berusaha untuk meningkatkan kompleksitas setelah pekerjaan sebelumnya dengan menggunakan pengetahuan yang didapat dari efek pembelajaran dalam percobaan model T52 oleh Floyd,dkk, 2000 [2].

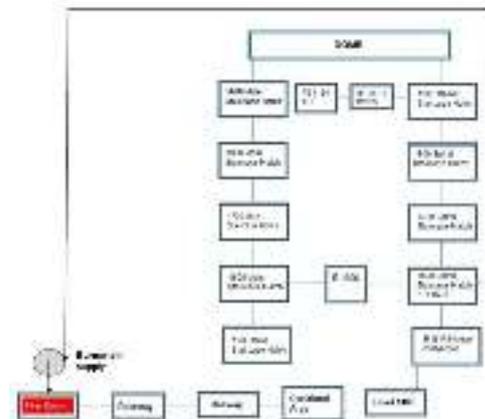
Model baru dari uji T51-23 (pada gambar 3) membagi bangunan HDR menjadi tujuh kompartemen. Masing-masing dua kompartemen ditambahkan untuk spiral dan sisi tangga utama di tingkat 1700, tingkat 1800, dan di tingkat 1900, serta kompartemen terakhir adalah kubah. Level 1800 dan 1900 terbagi menjadi 2 tingkat terpisah karena SYLVIA memiliki kemampuan untuk menjalankan sistem pada dua tingkat yang terpisah.

Ketinggian di atas tingkat ruang 1400 telah diuraikan oleh Schall (1982), yang memberikan elevasi tertentu di fasilitas. Tinggi kompartemen R1500 adalah 5.5 m, R1600S adalah 5.05 m, R1.606M memiliki ketinggian 4.6 m, sehingga bagian atas kompartemen di ketinggian 34.395 m. Ruang yang menghubungkan kompartemen R1600 ke R1400 bertinggi 6.5 m, R1700 adalah 5.55 m, tinggi kompartemen pintu kecil level 1700 adalah 5.55 m, tinggi R1800 dan R1800S adalah 4.7m, R1900M dan R1900S adalah 4.85m, dan kubah di ketinggian 30.15 m.

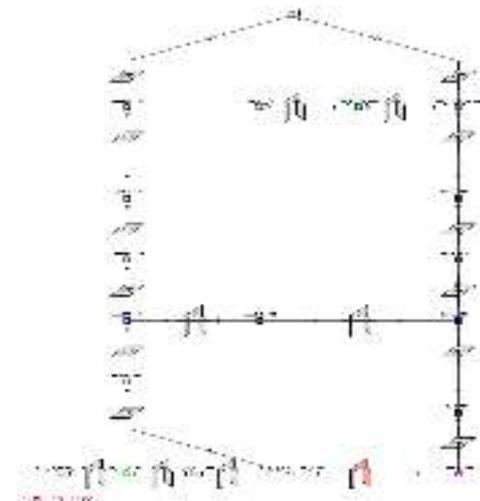
#### 3.2 Susunan Nodul dan Sambungan

Gambar HDR T.51.23 yang telah dimodelkan pada Gambar 3 lalu disusun dalam bentuk nodul dan jaringan pada code computer SYLVIA seperti pada Gambar 4. Ruang kebakaran (fire room) terletak di dasar bangunan

HDR. SYLVIA mengadopsi code computer untuk jaringan ventilasi seperti SIMEVENT, FIRAC, TRANS ACE atau FACE. Jaringan ventilasi dimodelkan dalam susunan nodul dan cabang-cabang ventilasi yang dianalogikan dengan sistem listrik [5].



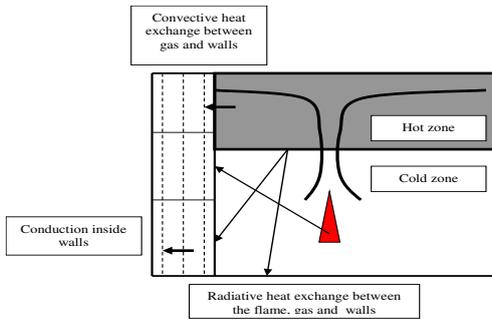
Gambar 3. Denah model kompartemen HDR



Gambar 4. Node dan percabangan (junction) model T51-23

Percabangan mewakili elemen penahan (*resistant element*) dari jaringan (pipa, saringan, katup, damper, kebocoran,dsb) atau element motor (kipas angin, berbagai alat control inlet,dll), dengan laju aliran massa diasumsikan seragam pada cabang-cabang tersebut dan fungsi dari perbedaan tekanan pada perbatasannya (nodes). Aliran pada elemen seperti ini dianggap tidak bisa ditekan (*incompressible*), contohnya densitas diasumsikan seragam sepanjang tiap cabang.

Perpindahan panas pada program SYLVIA terjadi melalui tiga cara, yaitu konduksi di antara lapisan dinding dengan dinding, konveksi antara gas/udara dengan dinding, dan radiatif antara nyala api (*flame*), udara, dan dinding, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan perpindahan panas paket komputer SYLVIA

Perpindahan panas konduksi terjadi di antara dinding dengan dinding didekatnya diselesaikan dengan persamaan Fourier 2 dimensi, dimana panas menjalar secara radial (tinggi dan tebal), sebagai berikut:

$$\rho_{wall} \frac{\partial H_{wall}(T)}{\partial t} = \lambda_{wall} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots (1)$$

$$\dot{q}_{conv}'' + \dot{q}_{rad}'' = -\lambda_{wall} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} \dots (2)$$

Perpindahan panas konveksi terjadi melalui udara ke dinding, dimana pada nodes menggunakan persamaan:

$$\dot{Q}_{conv} = h(T_{wall} - T_{gas}) \dots (3)$$

$$h = \frac{\lambda_{gas} \cdot Nu}{D} \dots (4)$$

dengan

$$Nu = \left\{ a_1 + \frac{a_2 \cdot Ra^{n_1}}{\left[ 1 + \left( \frac{a_3}{Pr} \right)^{n_2} \right]^{n_3}} \right\} \dots (5)$$

Sementara perpindahan panas konveksi pada brances digunakan persamaan:

$$\dot{Q}_{conv} = Q_m C_{p,gas} (T_{gas} - T_w) \left[ 1 - \exp\left( -\frac{hS}{Q_m C_{p,gas}} \right) \right] \dots (6)$$

Perpindahan panas radiatif menggunakan persamaan matematika sebagai berikut:

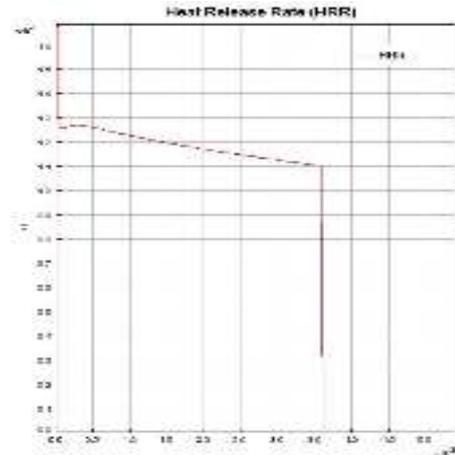
$$\dot{Q}_{z,out}'' = \tau_z \cdot \dot{Q}_{z,in}'' + (1 - \tau_z) \sigma T_z^4 \dots (7)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Laju pelepasan panas T51.23

Perhitungan laju pelepasan panas sangat bermanfaat dalam simulasi kebakaran. Laju Pelepasan panas (HRR) adalah laju panas yang dihasilkan oleh kebakaran, yang terdapat pada setiap meter persegi permukaan yang menyerap panas dalam permukaan tertentu. Gambar 6 menunjukkan bahwa hasil perhitungan menggunakan SYLVIA berkisar 5% dari perhitungan menggunakan

CFAST. Hasil ini mengindikasikan bahwa SYLVIA dapat digunakan untuk memvalidasi perhitungan kebakaran menggunakan model pendekatan dua zona seperti CFAST.

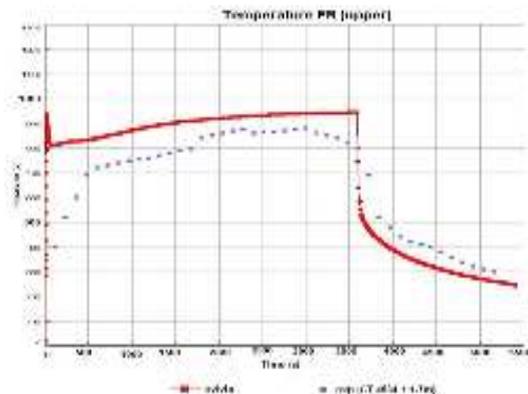


Gambar 6. Laju pelepasan panas

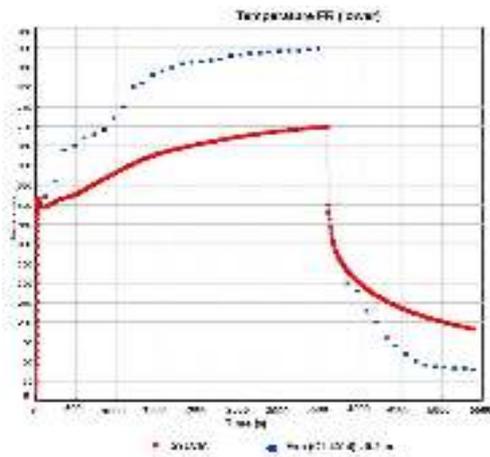
4.2 Prediksi temperatur T51.23

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan perbandingan temperatur udara (sumbu y) pada bagian atas dan bawah ruang kebakaran (FR: fire room) antara pengukuran dan SYLVIA, dengan waktu simulasi (sumbu x). Pada Gambar 7, perhitungan dengan SYLVIA menunjukkan nilai relatif lebih tinggi sedikit daripada nilai pengukuran. Seperti pada Tabel 1, tinggi kompartemen ruang kebakaran adalah 2.75 m sementara instrumen pengukur terletak 1.7 m di atas permukaan lantai, sehingga di awal-awal terjadinya kebakaran (0-8 menit), suhu pada alat pengukur relatif lebih tinggi daripada SYLVIA. Namun di akhir simulasi kebakaran kedua grafik menunjukkan kecenderungan yang mirip.

Pada Gambar 8, instrumen pengukur terletak pada ketinggian 70 cm di atas permukaan lantai, sehingga di awal simulasi kebakaran hingga akhir simulasi kebakaran, temperaturnya relatif berbeda signifikan dibandingkan dengan prediksi temperatur menggunakan SYLVIA.

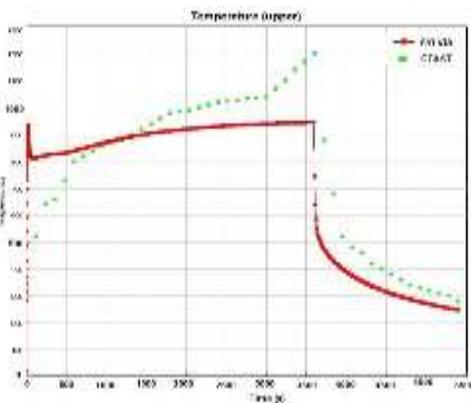


Gambar 7. Temperatur bagian atas ruang kebakaran. Terukur vs SYLVIA



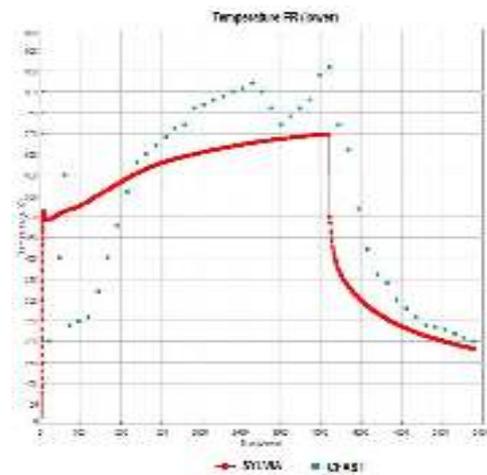
**Gambar 8.** Temperatur bagian bawah ruang kebakaran. Terukur vs SYLVIA

Gambar 9 dan Gambar 10 menginformasikan perbandingan perhitungan antara *CFAST* dan *SYLVIA* di bagian atas dan bagian bawah ruang kebakaran.



**Gambar 9.** Temperatur bagian atas ruang kebakaran. *CFAST* vs *SYLVIA*

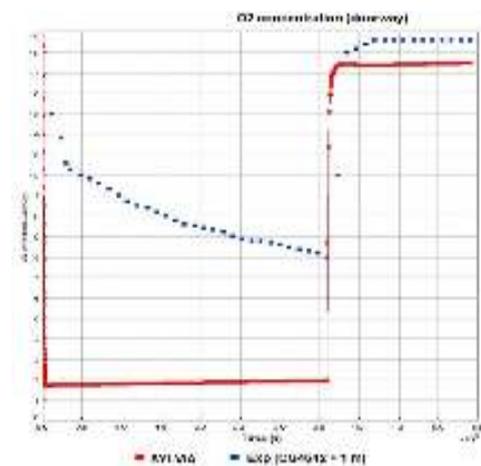
Kedua gambar tersebut memperlihatkan sedikit perbedaan antara kedua metode simulasi ini. Perbedaan nilai ini disebabkan karena adanya penggunaan model konfigurasi yang tidak sama. Pada simulasi menggunakan *CFAST*, temperatur udara di zona atas dan zona bawah ruang kebakaran lebih tinggi daripada temperatur zona atas dan zona bawah menggunakan *SYLVIA*. Pada model dengan *CFAST*, ruang kebakaran dan jalur pintu (*doorway*) digabung dalam satu volume mengakibatkan volume oksigen untuk pembakaran menjadi lebih banyak, dan memungkinkan pencampuran antara udara panas dengan udara dingin. Sedangkan pada *SYLVIA*, ruang kebakaran dan jalur pintu (*doorway*) terpisah dalam dua bagian volume yang bersebelahan.



**Gambar 10.** Temperatur bagian bawah ruang kebakaran. *CFAST* vs *SYLVIA*

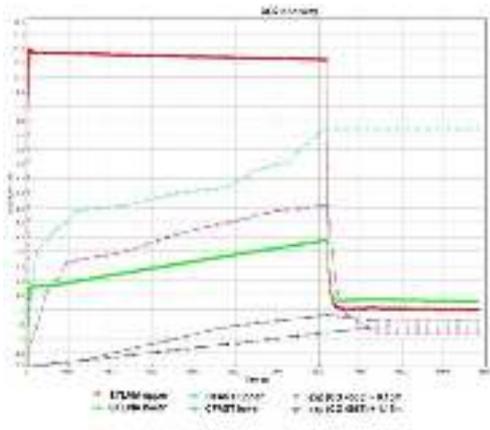
#### 4.3 Prediksi konsentrasi gas T51.23

Gambar 11 menunjukkan perbandingan konsentrasi oksigen (sumbu y, satuan persen volume  $O_2$ ) pada bagian atas di lokasi jalur pintu (*doorway*) dengan waktu simulasi (sumbu x), antara pengukuran dengan instrumen dan *SYLVIA*. Instrumen pengukuran volume oksigen ditempatkan pada ketinggian 1 m di atas permukaan lantai sementara tinggi *doorway* (pada Tabel 1) adalah 1.975 m. Dapat terlihat bahwa konsentrasi oksigen pada *SYLVIA* cenderung stabil selama pembakaran sedangkan pada peralatan pengukuran, penurunan konsentrasi oksigen terjadi secara bertahap. Setelah 1 jam, konsentrasi oksigen kembali normal (21% volume di udara).



**Gambar 11.** Konsentrasi oksigen di ruang jalur bagian atas. Terukur vs *SYLVIA*

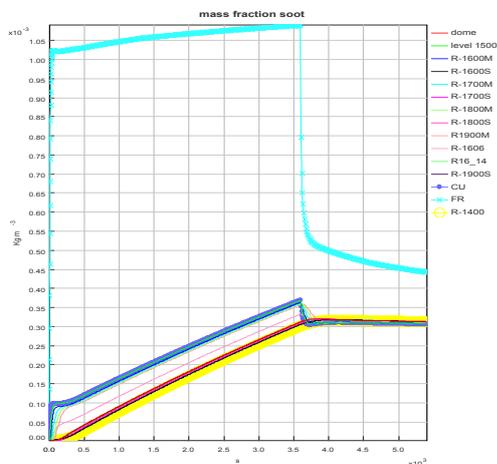
Gambar 12 menunjukkan konsentrasi karbon dioksida pada bagian atas dan bawah ruang jalur pintu (*doorway*). Setelah kebakaran terjadi, konsentrasi  $CO_2$  meningkat dengan cepat serupa dengan pembacaan pada instrumen pengukuran langsung. Begitu juga dengan nilai setelah simulasi kebakaran selesai, konsentrasi  $CO_2$  turun dengan cepat dimana nilai konsentrasinya sama dengan nilai terukur.



**Gambar 12.** Konsentrasi CO<sub>2</sub> pada bagian atas dan bagian bawah ruang jalur pintu

#### 4.4 Prediksi fraksi massa T51.23

Perhitungan kebakaran menggunakan *SYLVIA* juga mempertimbangkan faktor deposisi partikulat karbon. Partikulat karbon dapat terdeposisi di seluruh ruangan fasilitas *HDR* termasuk kubah. Gambar 13 menunjukkan fraksi massa CO<sub>2</sub> di seluruh ruangan *HDR*. Pada ruang terjadinya kebakaran, fraksi massa CO<sub>2</sub> meningkat 12% dari keadaan awal kemudian fraksi massanya berkurang hingga 6% saat mendekati waktu 1 jam. Di saat yang sama, fraksi massa CO<sub>2</sub> di ruangan lainnya naik hingga 3-4%.



**Gambar 13.** Fraksi massa partikel karbon (soot) di seluruh ruangan

Jumlah fraksi massa partikel karbon meningkat seiring dengan besarnya kebakaran. Gambar 13 juga menunjukkan fakta bahwa fraksi massa partikel karbon meningkat di seluruh ruangan. Partikel karbon lebih banyak terdispersi ke arah vertikal daripada arah horizontal. Hal ini ditunjukkan dengan jumlah fraksi massa partikel karbon di ruang R-1500 yang lebih besar daripada R-1400.

## V. KESIMPULAN

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan prediksi temperatur dan konsentrasi gas, serta fraksi massa partikel karbon (*soot*) pada model

T51.23 menggunakan paket komputer *SYLVIA* memiliki nilai yang relatif serupa dengan hasil yang diperoleh dengan paket komputer *CFAST* maupun pengukuran menggunakan peralatan instrumen alat ukur.

Partikel karbon (*soot*) dan gas karbon dioksida terdispersi lebih banyak ke arah vertikal daripada arah horizontal. Partikel karbon menyebar ke seluruh ruangan hingga bagian atas dari gedung *HDR*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pimpinan BAPETEN yang telah memberi kesempatan penulis mengikuti IAEA fellowship program ke IRSN Prancis dalam bidang review dan penilaian bahaya kebakaran instalasi nuklir.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA SAFETY STANDARDS SERIES SAFETY GUIDE, NS-G-1.7, "Protection against Internal Fires and Explosions in the Design of Nuclear Power Plants", 2004.
- [2] Jason E. Floyd, "Evaluation of the Predictive Capabilities of Current Computational Methods for Fire Simulation in Enclosures Using the *HDR* T51 and T52 Tests With a Focus on Performance-Based Fire Codes". Department of Materials and Nuclear Engineering: University of Maryland, 2000.
- [3] Jason E. Floyd, "Comparison of *CFAST* and *FDS* for Fire Simulation with the *HDR* T51 and T52 Tests", NISTIR 6866, National Institute of Standards and Technology, March 2002.
- [4] Nowlen, S.P. "A Summary of the Fire Testing Program at the German *HDR* Test Facility." NUREG/CR-6173. Washington, DC: US Nuclear Regulatory Commission, 1995.
- [5] Physical modelling of the *SYLVIA* v1.8 code, IRSN, Laboratoire de l'Incendie et des Explosions, BP 3 - 13115 Saint-Paul-lez-Durance, Cedex France.
- [6] S. Suard, S. Mélis, F. Babik, P. Querre, C. Lapuerta, L. Audouin and L. Rigollet, "Status of IRSN Fire Codes Development and Validation", Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), Direction de la Prévention des Accidents Majeurs (DPAM) BP 3 - 13115 Saint-Paul-lez-Durance, Cedex France



# MAKALAH PENYAJI ORAL UMUM





## **RANCANGAN PENERAPAN PRINSIP JUSTIFIKASI PROTEKSI RADIASI BERBASIS REKOMENDASI IAEA UNTUK PENGAWASAN PEMANFAATAN NUKLIR DI INDONESIA**

**Yus Rusdian Akhmad**

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)*

e-mail: y.rusdian@bapeten.go.id

### **ABSTRAK**

Telah 10 tahun diamanatkan, pada pasal 22 ayat 3, sejak terbit PP No 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) untuk ketentuan lebih lanjut mengenai Justifikasi pemanfaatan nuklir belum terwujud. Dalam kurun waktu tersebut ada kebutuhan justifikasi pemanfaatan nuklir, dari catatan penulis ada permohonan informal dan tertulis dari Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Kesulitan ini tidak hanya dialami Indonesia, secara umum di tingkat Internasional juga terjadi sehingga menjadi kritik bagi komunitas nuklir dari sudut pandang etika. Pada tahun 2006 untuk memenuhinya International Atomic Energy Agency (IAEA) menerbitkan Safety Fundamental SF-1 sebagai basis etika dan falsafah pemanfaatan nuklir. Untuk penguatan implementasinya, tahun 2014 IAEA menetapkan GSR Part 3 tentang *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards* dan menerbitkan pedoman umum GSG-5 tentang *Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging*. Dengan mengacu pada referensi ini dan mempertimbangkan infrastruktur pengawasan nuklir di Indonesia khususnya kondisi Pemerintahan Indonesia dan BAPETEN, penulis mengajukan rancangan penerapan prinsip Justifikasi sebagai bahan penyusunan Perka BAPETEN. Sesuai rekomendasi IAEA kewenangan memutuskan proses Justifikasi berada pada Pemerintah atau BAPETEN tergantung pada tingkat persoalan yang akan dihadapi; jika mencakup masalah luas dan sangat rumit kewenangannya pada tingkat Pemerintah tertinggi. Disiplin yang diterapkan pada kedua situasi tersebut sama yaitu dalam menilai proposal suatu pemanfaatan nuklir, proses yang transparan dan terstruktur (reflektif) harus dipegang agar para pihak berkepentingan menerima keputusannya. Proses Justifikasi dan peran para pihak dibahas sejelas dan sesederhana mungkin untuk membantu pemahaman bersama dalam penyusunan Perka BAPETEN. Pada situasi di mana kewenangan pengambilan keputusan berada pada regulator maka rekomendasi IAEA mengenai kebutuhan *the Advisory Body* untuk regulator, dalam hal ini untuk BAPETEN, diusulkan merupakan perwujudan kombinasi dari Komisi Ahli dan Unit-Unit Kajian yang ada. Dengan pendekatan ini berupa adopsi dan adaptasi terhadap rekomendasi IAEA tentang Justifikasi diharapkan Perka BAPETEN segera terwujud dan efektivitas pengawasan dapat meningkat dalam situasi tuntutan para pemangku kepentingan yang semakin tinggi.

**Kata kunci:** *Proteksi Radiasi, Justifikasi, Peraturan Kepala BAPETEN, Etika*

### **ABSTRACT**

*It has been ten years mandated since the issuance of Government Regulation No. 33 Year 2007 on Ionizing Radiation Safety and Radioactive Sources Security, BAPETEN Chairman Regulation for further provisions on Justification of Practices has not been realized. In that period there was an applicant for justification of nuclear use; the author's note there are informal and written request from BATAN. This difficulty is not only experienced by Indonesia but generally in the international level also occurs so that it becomes a criticism for the nuclear community from an ethical point of view. In 2006 to meet these needs IAEA has published Safety Fundamental SF-1 as the ethical and philosophical basis for nuclear utilization. For the strengthening of its implementation, in 2014 the IAEA established GSR Part 3 on Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards and published GSG-5 general guidelines on Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging. Referring this reference and taking into consideration the regulatory infrastructure in Indonesia, in particular the conditions of the Indonesian Government and the regulatory body of BAPETEN, the author propose the application of Justification principles as the material for preparation of the BCR. In accordance with the IAEA recommendation, the authority to decide on the Justification process shall remain with the Government or BAPETEN depending on the level of issue to be faced; if it covers the widespread and very complex issues its authority is at the highest Government level. In assessing the proposals the discipline applied to both situations is the same that is utilization of transparent and structured (reflective) process which must be held that interested parties could accept the decisions. The Justification Process and the roles of the parties are discussed as clearly and simply as possible to assist mutual understanding in the preparation of the BCR. For situations where the decision-making authority rests with the regulator, where the IAEA recommends the need of the Advisory Body for the regulators (ie. BAPETEN), it is proposed as a manifestation of a combination of the existing Experts Commission and the Assessment Technical Units. With this approach it is expected that the BCR*

*will soon be realized and the regulatory effectiveness may increase in the context of the increasing demands of the stakeholders.*

**Keywords:** Radiation Protection, Justification, BAPETEN Chairman Regulation, Ethic.

## I. PENDAHULUAN

Proteksi radiasi bukan hanya masalah sains, tetapi merupakan juga masalah falsafah. Agar peraturan proteksi radiasi dihormati, maka peraturan nya harus sesuai dengan nilai etika yang diterima secara luas di antara mereka yang terkena peraturan [1]. Untuk tataran falsafah ini, pada tahun 2006 *International Atomic Energy Agency* (IAEA) telah menggabungkan tiga dokumen katagori keselamatan pokok yaitu Proteksi dan Keselamatan Radiasi, Keselamatan Instalasi Nuklir, dan Keselamatan Pengelolaan Limbah Radioaktif menjadi satu dokumen keselamatan pokok yaitu *Safety Fundamental SF-1* dengan alasan bahwa "Perbedaan yang dibuat secara tradisional antara keselamatan nuklir dan proteksi radiasi hampir tidak bisa dibenarkan pada tingkat konseptual. Prinsip proteksi radiasi dan keselamatan nuklir di tiga terbitan *Safety Fundamentals* secara teknis kompatibel, namun telah dinyatakan secara berbeda" [2]. SF-1 telah menyajikan sepuluh elemen keselamatan pokok yang dapat dijadikan acuan dalam penilaian etika terhadap pemanfaatan tenaga nuklir. Salah satu unsur etika keselamatan nuklir yang dalam penerapannya masih mengalami kesulitan yaitu Justifikasi yang secara singkat bermakna bahwa kegiatan yang melibatkan radiasi pengion dan tenaga nuklir harus memberikan manfaat bersih yang melampaui risikonya. Perka BAPETEN tentang Justifikasi yang mengatur ketentuan lebih lanjut sampai sekarang belum terwujud meskipun telah diamankan oleh Peraturan Pemerintah No.33/2007 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radiasi, pada Pasal 22 ayat 3.

Dari situasi internasional, ketika prinsip Justifikasi pertama kali dinyatakan secara formal, banyak jenis praktik sudah tersebar luas, terutama di bidang medis dan industri, dan, secara umum, justifikasinya tersirat. Jenis praktik lainnya, terutama pembangkit tenaga listrik dengan reaksi fisi nuklir, merupakan masalah kebijakan nasional dan justifikasinya melibatkan banyak aspek selain keselamatan radiasi. Justifikasi jenis praktik lainnya dipertimbangkan dalam pengembangan standar keselamatan yang secara khusus menangani jenis praktik tersebut. Namun, dari waktu ke waktu, pertanyaan sering diajukan mengenai apakah ada kebutuhan berupa panduan umum mengenai penerapan prinsip justifikasi dalam otorisasi praktik, terutama yang dapat menyebabkan paparan radiasi terhadap anggota masyarakat [3]. Beberapa persoalan nyata yang seharusnya proses Justifikasi dilaksanakan untuk meringankan bahkan dapat menentukan keputusan penyelesaian antara lain embarkasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir dan/atau rumpun teknologi PLTN, pencitraan manusia untuk maksud non-medik, produk barang konsumen, penggunaan sumber untuk keamanan (*tracking*), dan mungkin pengalihan fungsi suatu sumber.

Dengan telah tersedia rekomendasi IAEA pada katagori keselamatan pokok, persyaratan umum, dan pedoman umum yang membahas proses Justifikasi dan diperkuat dengan koordinasi pemerintahan dan pemahaman bersama antar pemangku kepentingan mengenai peraturan perundangan ketenaganukliran diharapkan masalah penerapan justifikasi dapat teratasi diawali dengan terwujudnya Perka BAPETEN tentang Justifikasi. Pada makalah ini dibahas mengenai rancangan proses dan elemennya yang sesuai dengan kondisi Indonesia sebagai bahan untuk penyusunan Perka.

## II. POKOK BAHASAN

Beninson telah menjelaskan secara ringkas dan relatif jelas mengenai rekomendasi ICRP dengan analisis biaya-manfaat dalam penilaian justifikasi suatu praktik yang melibatkan paparan radiasi dan dalam mengoptimalkan proteksi radiasi [4]. Konsep "manfaat bersih" dari pengusulan praktik yang melibatkan paparan radiasi didefinisikan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$B = V - (P + X + Y),$$

dengan B adalah keuntungan bersih dari pengusulan praktik, V adalah keuntungan kotor, P adalah seluruh biaya produksi yang tidak melibatkan biaya proteksi, X adalah biaya untuk mencapai tingkat proteksi yang dipilih, dan Y adalah biaya kerugian yang terkait dengan tingkat peroteksi itu.

Penerapan analisis biaya-manfaat mensyaratkan penetapan nilai kuantitatif untuk X dan Y dalam semua kasus, dan beberapa aplikasi untuk V dan P. Biaya P dan X mudah dinyatakan dalam istilah moneter, namun V mungkin mengandung komponen yang sulit untuk dihitung. Kuantifikasi Y, yaitu biaya kerugian radiasi, dianggap sebagai perhitungan yang paling bermasalah dan paling kontroversial. Namun demikian, variabel itu penting untuk penerapan analisis biaya-manfaat dalam proteksi radiasi.

Justifikasi suatu praktik atau operasi yang diusulkan dengan melibatkan paparan radiasi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan keuntungan dan kerugiannya untuk memastikan apakah akan ada keuntungan bersih dari pengusulan praktik tersebut. Penilaian justifikasi akan berupa memutuskan pengusulan suatu praktik tertentu atau untuk memilih salah satu dari sekian banyak pilihan. Jenis keputusan dari kasus yang pertama merupakan kasus khusus dari yang kedua, yang salah satu pilihannya yaitu dengan tidak mengubah situasi yang sedang dihadapi.

Keputusan di antara beberapa pilihan, yang pertama dengan tidak mengusulkan praktik apapun, secara konseptual dapat didasarkan pada analisis biaya-manfaat, seperti yang ditunjukkan pada paragraf di muka. Gagasan dasar dalam penerapan analisis biaya-manfaat untuk keputusan semacam itu relatif sederhana

yaitu suatu tindakan diambil jika keuntungan bersih yang dihasilkan telah melebihi alternatif berikutnya. Dengan menetapkan pilihan  $i = 1, 2, \dots, n$  dan dengan  $i = 0$  merupakan keputusan dengan tidak mengusulkan perubahan, maka pilihannya akan semakin dapat dijustifikasi apabila semakin meningkatkan nilai positif dari keuntungan bersih  $B_i$ ,

$$B_i = (V_i - V_0) - (P_i - P_0) - (X_i - X_0) - (Y_i - Y_0) \dots (1)$$

dengan simbol yang disajikan memiliki makna yang sama seperti yang dinyatakan pada paragraf di muka. Pilihan yang dibenarkan,  $B_j$ , selanjutnya jadi sebagai berikut:

$$B_j = \max(B_i) \dots (2)$$

Dalam prakteknya, adanya biaya dan manfaat yang *intangible* dalam banyak kasus membuat suatu analisis menjadi subjektif. Namun, penilaian relatif yang membandingkan justifikasi dari berbagai prosedur alternatif adalah lebih sederhana, karena keuntungan kotor yang sama juga terjadi. Hal ini ditunjukkan dari pernyataan Persamaannya, bahwa dalam kasus yang sangat sederhana hanya ada dua pilihan, yang membedakan hanya dalam tingkat perlindungan, penilaian justifikasi menjadi identik dengan optimisasi. Penerimaan suatu praktik atau pilihan di antara berbagai praktik akan bergantung pada banyak faktor, hanya beberapa saja yang terkait dengan faktor radiasi. Ini yang dimaksudkan bahwa dalam proses justifikasi persoalannya merambah ke luar dari disiplin bidang proteksi radiasi. Peran proteksi radiasi dalam prosedur justifikasi adalah memastikan bahwa kerugian radiasi telah dipertimbangkan, dan perbandingan antara praktik dilakukan setelah menerapkan prosedur pengoptimalan untuk masing-masing opsi.

Berdasarkan penjelasan di muka, kesulitan dalam penerapan prinsip Justifikasi oleh pihak berkompetensi di bidang proteksi radiasi/nuklir yaitu terutama karena persoalannya merambah, dan membutuhkan masukan, bidang non radiologik dan adanya variabel yang sulit atau tidak mungkin dapat dikuantifikasi. Namun pemerhati bidang etika [5] berpandangan bahwa alasan seperti itu tidak dapat diterima mengingat pendekatan kuantitatif saja, dalam hal ini *cost and benefit analysis*, tidak cukup dan mungkin memerlukan melalui kombinasi kualitatif dan kuantitatif sebagai pendekatan yang lebih memadai di mana ternyata persoalan etika juga membutuhkan pendekatan kuantitatif selain kualitatif. Alasan karena tidak menguasai kompetensi di luar bidang radiasi/nuklir juga tidak dapat diterima karena masukan informasi dari luar bidang dapat dimintakan menuju proses pengambilan keputusan dengan pertukaran informasi di antara para pihak berwenang.

Sampai saat ini IAEA telah memiliki pegangan yang cukup memadai untuk membantu negara anggotanya dalam menghadapi persoalan penerapan Justifikasi pemanfaatan radiasi pengion dan tenaga nuklir antara lain dengan menerbitkan Safety Fundamental SF-1 (tahun 2006), sebagai landasan etika, GSR-Part 3 (tahun 2014) berupa persyaratan umum keselamatan untuk standard internasional

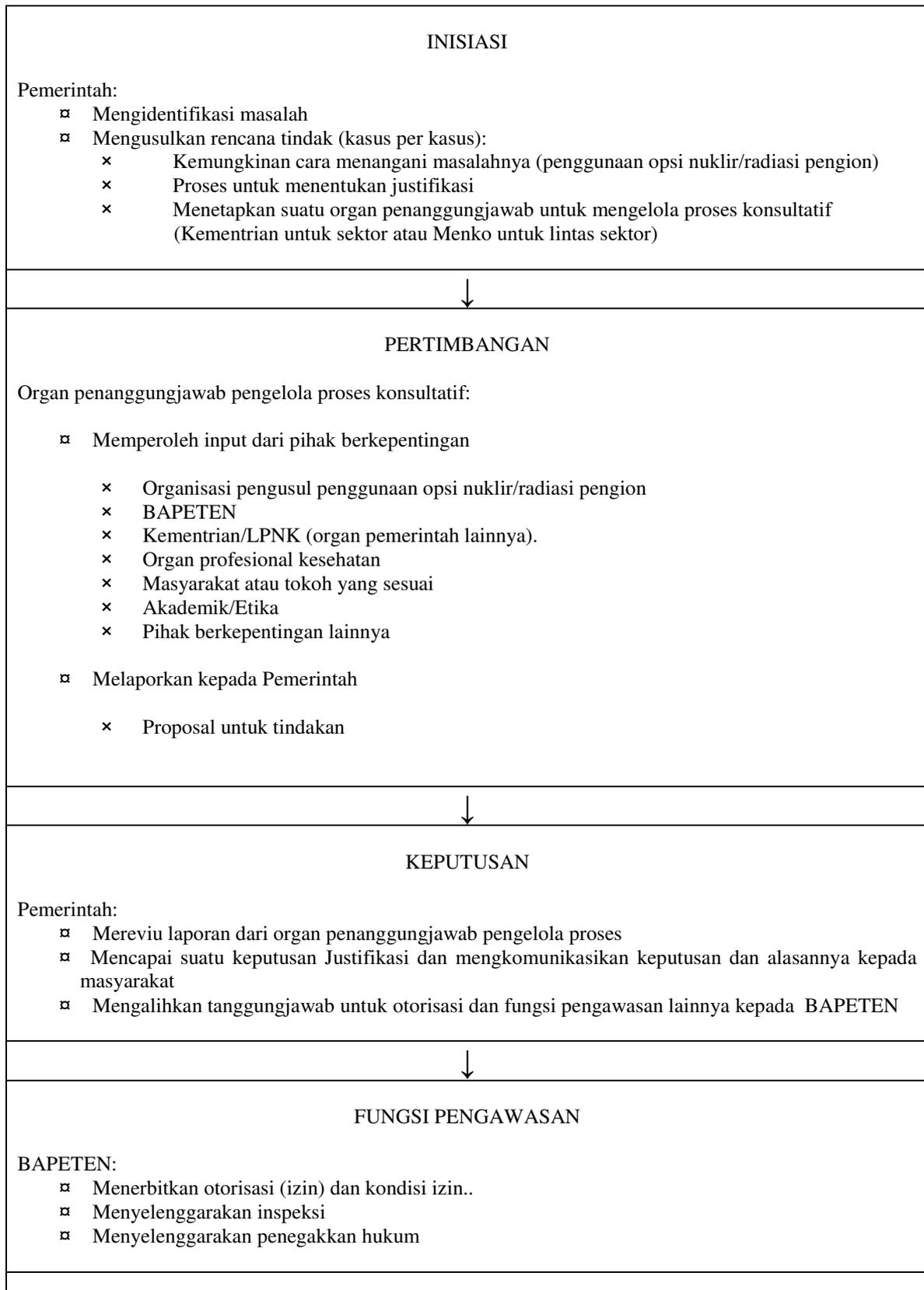
keselamatan radiasi [6], dan GSG-5 (tahun 2014) berupa pedoman umum untuk penerapan Justifikasi pemanfaatan nuklir, termasuk untuk pencitraan manusia di bidang non-medik. Dengan demikian pokok bahasan di sini terutama mencakup pendekatan terhadap pemahaman dan penerapan prinsip Justifikasi yang berbasis pada rekomendasi IAEA; dalam hal ini terdapat dua keadaan (pilihan) pemegang kewenangan pengambil keputusan yang penetapannya tergantung pada tingkat kerumitan masalah yang dihadapi yaitu oleh Pemerinatah atau oleh Badan pengawas. Pendekatan strukur dan proses justifikasi pada dua keadaan tersebut akan dibahas se jelas dan sesederhana mungkin agar dapat menyediakan materi yang praktis dalam penyusunan Perka selanjutnya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

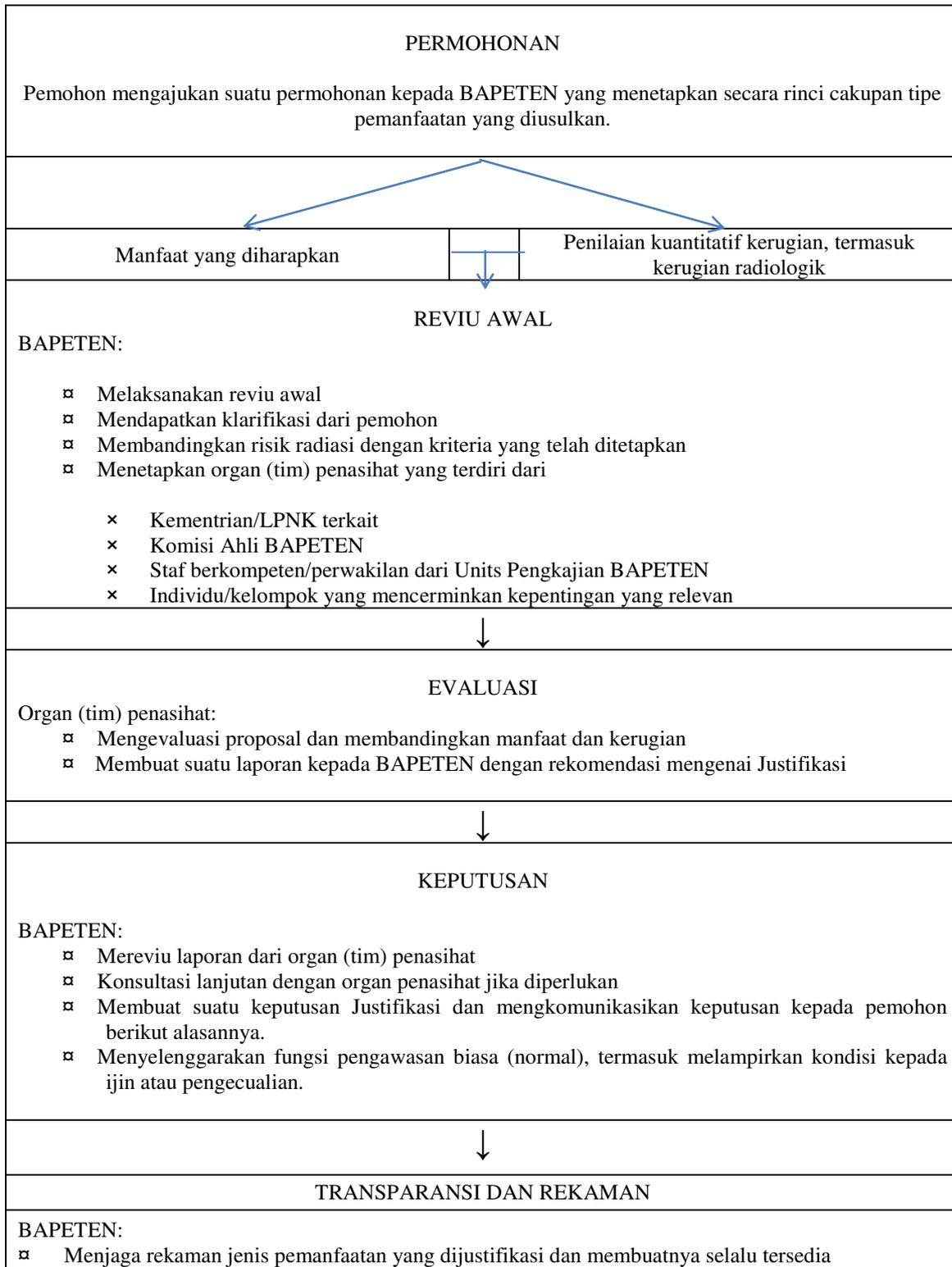
Proses justifikasi merupakan proses pengambilan keputusan dengan pendekatan konsultatif bukan dengan pendekatan konsensus. Oleh karena itu para pihak yang terlibat bersifat reflektif bukan representatif dari organ atau kelompok kepentingan yang mewadahnya. Pendekatan yang transparan dan terstruktur perlu ditempuh oleh pemerintah atau BAPETEN dalam proses justifikasi suatu opsi aplikasi nuklir atau radiasi pengion. Ada tanggungjawab setiap para pihak yang berjenjang mulai dari pemerintah, regulator, organisasi/pihak pengoperasi, para staf, sampai pabrikan, dll, yang perlu dipertimbangkan dan akan berpengaruh dalam menentukan pendekatan struktur justifikasi.

Tanggungjawab para pihak utama yang relevan dalam justifikasi secara garis besar sebagai berikut:

- **Pemerintah:** menetapkan kebijakan dan strategi nasional untuk keselamatan; menetapkan kerangka kerja pengawasan, legal, dan pemerintahan termasuk alokasi tanggungjawabnya; memberikan otoritas legal, kompetensi, dan sumberdaya bagi BAPETEN termasuk memastikan BAPETEN bersikap mandiri dalam pengambilan keputusan; melibatkan para pihak berkepentingan yang sesuai; menentukan kondisi strategis untuk suatu proposal sehingga di luar itu dapat mengalihkan kewenangan justifikasi kepada BAPETEN,
- **BAPETEN:** memverifikasi dan menilai keselamatan sesuai persyaratan pengawasan; mendapatkan advis teknis atau profesional lainnya tanpa melepas tanggungjawabnya sebagai regulator; menjaga bebas dari konflik kepentingan atas penunjukkan penasihatnya; memastikan pengawasan yang stabil dan konsisten; menjaga proses pengawasan yang formal berbasis kebijakan, prinsip, dan kriteria sehingga terhindar dari atau mengurangi subyektivitas dalam pengambilan keputusan; mengadakan organ penasihat yang anggotanya mencerminkan berbagai kepentingan dan memberinya masukan mengenai penilaian risiko radiasi dari suatu proposal; dan mengembangkan pedoman justifikasi yang dibutuhkan para pihak,



**Gambar 1.** Usulan proses yang perlu dijalankan oleh Pemerintah untuk penentuan Justifikasi suatu tipe pemanfaatan nuklir/radiasi pengion, diadaptasi dari IAEA, GSG-5.



**Gambar 2.** Usulan proses yang perlu dijalankan oleh BAPETEN untuk penentuan Justifikasi suatu tipe pemanfaatan nuklir/radiasi pengion, diadaptasi dari IAEA, GSG-5.

▫ **Penanggungjawab fasilitas dan kegiatan:** menyiapkan penilaian manfaat dan kerugian dari aplikasi opsi nuklir/radiasi pengion yang diusulkan termasuk informasi lain yang relevan yang diminta pemerintah atau BAPETEN.

Pada Gambar 1 dan Gambar 2 disajikan berurutan proses justifikasi untuk pilihan pendekatan terstruktur pada tingkat pemerintah dan BAPETEN. Sebelum proses dimulai pilihan pendekatan terstruktur perlu ditetapkan dengan mempertimbangkan nilai strategis dari suatu proposal opsi nuklir/radiasi pengion. Mungkin dalam hal ini BAPETEN memerlukan konsultasi dengan pemerintah dan para pihak berkompeten untuk menilai apakah suatu opsi nuklir berdampak luas dan penting yang mencakup tekno-ekonomi-politis.

Secara garis besar, untuk pilihan pendekatan proses oleh pemerintah, maka pemerintah mengadakan organ penanggungjawab proses atau memilih satu dari berbagai organ yang sudah ada yang paling sesuai untuk menjalankan TOR yang telah ditetapkan. Selanjutnya organ tersebut meminta masukan dari berbagai pihak berkepentingan mengenai manfaat-kerugian dari suatu opsi nuklir yang diajukan yang meliputi organ pengusul, BAPETEN, Kementrian/LPNK terkait, organ kesehatan profesional, akademisi, dan tokoh masyarakat. Berdasarkan masukan tersebut organ penanggungjawab proses menyiapkan laporan dan rekomendasi kepada pemerintah yang memuat apakah proposal dapat dijustifikasi. Pada akhirnya pemerintah mereviu laporan dan memutuskan justifikasi termasuk memberikan alasannya. Apabila pemerintah memutuskan bahwa opsi nuklir yang diusulkan dijustifikasi, maka BAPETEN selanjutnya menjalankan fungsi pengawasan seperti biasa yaitu mengembangkan peraturan yang diperlukan, perizinan, dan inspeksi spesifik untuk tipe opsi nuklir yang dijustifikasi.

Dalam hal BAPETEN bertanggung jawab untuk menentukan justifikasi suatu jenis praktik, organ (pokja) penasehat harus dibentuk dan dikonsultasikan secara formal untuk menghindari preferensi pribadi staf BAPETEN ketika memutuskan Justifikasi jenis praktik tertentu. BAPETEN harus memastikan bahwa informasi yang memadai diberikan kepada pokja penasehat agar anggotanya memahami risiko yang terkait dengan paparan radiasi dan untuk dapat menempatkan risiko tersebut dalam perspektif dengan risiko lainnya. Semua faktor yang relevan harus dipertimbangkan dan pendekatan yang ditempuh harus dapat menjelaskan kepentingan relatif yang telah dikaitkan dengan faktor tertentu. BAPETEN harus mengikuti proses yang ditunjukkan pada Gambar 2.

#### *Permohonan*

Informasi yang diberikan pemohon kepada BAPETEN harus mencakup hal-hal berikut:

- nama pemohon dan rincian kontak.
- Uraian tentang jenis pemanfaatan, dengan gambar dan diagram yang sesuai.
- Karakterisasi lengkap dari sumber radiasi yang akan digunakan dan tindakan yang akan diambil

untuk memastikan keselamatan dan untuk mengurangi konsekuensi radiologis.

- Penilaian terhadap manfaat dan kerugian, termasuk kerugian radiasi, dari jenis praktik tersebut. Penilaian ini harus mencakup aspek ekonomi, sosial, kesehatan dan keselamatan, pengelolaan limbah, daur ulang, dampak lingkungan radiologis dan aspek dekomisioning. Penilaian kerusakan radiasi harus mencakup besar dan kemungkinan paparan yang diharapkan dan penilaian terhadap potensi paparan.
- Indikasi peluasan penggunaan jenis praktik yang diharapkan.

#### *Reviu awal*

BAPETEN awalnya harus fokus pada informasi yang diberikan oleh pemohon dan harus menentukan apakah pemohon telah memberikan semua informasi yang diperlukan. Bila perlu, BAPETEN mencari klarifikasi. Dalam hal ini juga harus membuat perbandingan awal dengan kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelahnya, BAPETEN harus mencari nasehat dari organ penasihat yang saat ini telah tersedia di dalam organisasi BAPETEN yaitu Komisi Ahli dan Unit Kajian. Apabila dari persoalan yang dihadapi dipandang perlu membuat Kelompok Kerja (Pokja) dengan keanggotaan yang lebih luas, maka Pokja tersebut melibatkan juga Kementrian/LPNK terkait, dan individu yang merupakan reflektif dari kepentingan tertentu yang relevan.

#### *Evaluasi*

Pokja (Organ) penasehat harus:

- meninjau dan memeriksa manfaat yang diklaim dan, jika perlu, berkonsultasi dengan pihak yang berkepentingan;
- meninjau dan memeriksa kerugian yang disebutkan, termasuk kerugian radiasi, yang diperkirakan timbul dan, jika perlu, mencari informasi lebih lanjut dan/atau saran mengenai kecukupan penilaian kerugian yang diajukan oleh pemohon;
- mengevaluasi manfaat dan kerugian, termasuk kerugian radiasi, dan bukti yang relevan;
- membuat laporan untuk BAPETEN dengan rekomendasi mengenai justifikasi jenis praktik yang diusulkan.

Semua aspek radiologi yang relevan harus dipertimbangkan seperti dosis radiasi dan risiko dari penggunaan normal, transportasi, kecelakaan dan insiden lainnya, penyalahgunaan, daur ulang dan pengelolaan limbah. Dalam hal menilai dosis dari kecelakaan, harus diperhitungkan probabilitas terjadinya kecelakaan. Fokus penilaian radiologis harus diberikan pada dosis individu yang paling terpapar. Dosis kolektif untuk semua orang yang terpapar sebagai konsekuensi dari penerapannya dapat menjadi penentu dalam mencapai keputusan justifikasi di antara beberapa pilihan jenis praktik. Dosis efektif kolektif merupakan instrumen untuk mengoptimalkan dan untuk membandingkan prosedur dan teknologi dari berbagai pilihan praktik secara radiologik dalam hal

proteksi radiasi.

Manfaat dari suatu opsi pemanfaatan bisa beragam, seperti kemungkinan menyelamatkan hidup, pencegahan cedera atau penyakit, manfaat teknis, pencegahan kerusakan properti atau perbaikan keamanan. Manfaat yang diharapkan harus dapat dikuantifikasi sejauh mungkin. Jika manfaat dan kerugian radiasi dapat dinyatakan dalam istilah yang sepadan, seperti kehidupan yang diselamatkan, atau secara finansial, keputusannya akan relatif mudah dilakukan. Namun, secara umum, masalahnya tidak demikian dan karena itu *value judgments* tidak dapat dihindari sama sekali, namun harus dikurangi sejauh mungkin. Penilaian konsekuensi radiologik bersifat teknis dan hanya memerlukan kompetensi yang sesuai untuk menyelesaikannya, namun penilaian manfaat seringkali sangat subjektif. Untuk membatasi bias oleh Pokja penasehat dalam penilaian manfaat, maka Pokja ini harus, jika memungkinkan, menetapkan kriteria sebelum menilai justifikasi suatu jenis praktik, untuk membantunya dalam membuat rekomendasi kepada BAPETEN.

Pokja penasehat harus meninjau dan mengevaluasi semua masukan, dengan mempertimbangkan kriteria yang telah ditetapkan. Proses evaluasi harus didokumentasikan secara menyeluruh. Laporan tersebut harus menetapkan bukti kunci, ketidakpastian dalam evaluasi, dan dasar pemikiran rekomendasinya, baik positif maupun negatif. Juga perlu ditunjukkan dengan jelas pentingnya setiap masukan. Jika, dalam membuat rekomendasinya, perbandingan dengan alternatif non-radioaktif atau non-radiasi dianggap perlu oleh BAPETEN, hal ini harus dilakukan dengan hati-hati. Alternatif lain kemungkinan juga memiliki kerugian dan, selanjutnya, mungkin tidak mencapai keuntungan yang sepenuhnya sama. Adanya alternatif tersebut tidak boleh dijadikan alasan untuk memutuskan bahwa jenis opsi nuklir/radiasi pengion yang diusulkan tidak dapat dijustifikasi.

#### *Keputusan*

BAPETEN harus mereviu laporan Pokja penasehat. Setelah konsultasi lebih lanjut yang diperlukan dengan Pokja, BAPETEN harus membuat keputusan mengenai justifikasi jenis pemanfaatan yang diusulkan. Hasil keputusan harus dikomunikasikan kepada pemohon. Bila jenis pemanfaatan itu dianggap dapat dijustifikasi, BAPETEN harus mengikuti proses normal untuk mempertimbangkan permohonan perijinan. Dalam hal ini harus melibatkan klarifikasi mengenai berbagai kondisi yang dapat diterapkan atas dasar pertimbangan mengoptimalkan tindakan proteksi. Kondisi seperti itu harus mencakup berbagai aspek seperti jenis dan aktivitas radionuklida yang diizinkan untuk digunakan.

#### *Transparansi dan catatan*

Setelah menyelesaikan pertimbangannya, BAPETEN harus mengambil langkah-langkah untuk mengkomunikasikan keputusan tersebut kepada mereka yang kemungkinan besar akan terpengaruh olehnya. BAPETEN juga harus memelihara daftar jenis

pemanfaatan terbaru yang dianggap dapat dijustifikasi dan harus membuat daftar ini tersedia untuk membantu mereka yang mungkin ingin mengajukan ijin atau pengecualian untuk pemanfaatannya. BAPETEN harus memasukkan dalam daftar ini jenis pemanfaatan yang telah diizinkan dan yang telah mendapatkan pengecualian. Namun demikian, kenyataan bahwa suatu jenis praktik telah diberi izin atau pengecualian tidak menghalangi BAPETEN untuk meninjau ulang justifikasinya terhadap jenis pemanfaatan itu.

#### IV. KESIMPULAN

Telah dibahas rancangan penerapan prinsip justifikasi sebagai bahan penyiapan Perka BAPETEN tentang Justifikasi yang diamanatkan oleh PP 33 tahun 2007 pada pasal 22 ayat 3. Tergantung nilai strategis dari opsi nuklir/radiasi pengion yang diajukan dalam proses justifikasi, kewenangan keputusan dapat dijalankan oleh pemerintah atau oleh BAPETEN.

Proses justifikasi merupakan proses pengambilan keputusan berbasis konsultatif bukan konsensus. Oleh karena itu, anggota yang terlibat dalam proses tersebut lebih tepat sebagai reflektif bukan representatif dari organ berkepentingan yang mewadahnya.

Dalam hal kewenangan pengambilan keputusan dilakukan oleh BAPETEN, maka kebutuhan *Advisory Body* untuk membantu BAPETEN sebagaimana direkomendasikan oleh IAEA dalam GSG-5 tentang *Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging* dapat diperankan oleh gabungan dari Komisi Ahli dan Unit Kajian yang keduanya sudah diwadahi di dalam struktur organisasi BAPETEN.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU., para pejabat struktural dan fungsional BAPETEN, termasuk rekan seprofesi yang telah memotivasi penulis untuk berbagi pemahaman dan praktek dari disiplin Proteksi Radiasi. Semoga sumbangan pemahaman ini walaupun hanya sedikit akan bermanfaat untuk kemajuan pengawasan nuklir di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kristin S. Frechette, and Lars Persson (2001), *Ethical Problem in Radiation Protection*, Swedish Radiation Protection Institute
- [2] International Atomic Energy Agency (2006), *Safety Fundamental, SF-1*, IAEA
- [3] International Atomic Energy Agency (2014), *Justification of Practice, Including Non Medical Human Imaging*, GSG-5, IAEA
- [4] Beninson D., (19xx), *Justification and Optimization in Radiation Protection*, [www.iaea.org/inis/collection](http://www.iaea.org/inis/collection)
- [5] Stephen M. Gardiner (2005), *Why We Need More than Justification in the Ethic of Radiological Protection: A View from Outside*, University of Washington, [smgard@u.washington.edu](mailto:smgard@u.washington.edu)
- [6] International Atomic Energy Agency (2014), *Radiation Protection and Safety of Radiation*

*Sources: International Basic safety Standards,  
GSR Part 3, IAEA*



## PENINGKATAN INFRASTRUKTUR KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA MELALUI KESERTAAN SEBAGAI NEGARA PIHAK KONVENSI KESELAMATAN NUKLIR

Reno Alamsyah<sup>1</sup>, Bintoro Aji<sup>1</sup>, Djoko Hari Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – P2STPIBN BAPETEN.

Correspondent Author: r.alamsyah@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan suatu kajian untuk melihat pengaruh yang diberikan oleh Konvensi Keselamatan Nuklir terhadap pengembangan infrastruktur keselamatan nuklir yang telah ada di Indonesia, serta untuk melihat peluang-peluang peningkatan infrastruktur ini di masa-masa yang akan datang. Kajian ini menggunakan metode studi perbandingan dan analitik deskriptif atas dokumen standar yang dikembangkan IAEA, hasil-hasil pertemuan revid Konvensi Keselamatan Nuklir dan misi revid internasional, serta peraturan perundang-undangan di Indonesia. Dengan metode tersebut dihasilkan suatu peta jalan yang menggambarkan hubungan antara Konvensi Keselamatan Nuklir dengan dokumentasi standar IAEA dan instrumen peraturan perundang-undangan di Indonesia. Kajian antara lain menyimpulkan bahwa Konvensi Keselamatan Nuklir dengan instrumen di bawahnya telah berperan dalam pengembangan infrastruktur keselamatan nuklir di Indonesia; Hasil peer review Konvensi dan misi revid internasional merupakan bahan yang sangat baik untuk memperbaharui perencanaan peningkatan keselamatan nuklir nasional dengan menggunakan peta jalan yang dihasilkan; Peluang untuk meningkatkan kemandirian BAPETEN juga cukup luas, antara lain dengan upaya-upaya peningkatan kapasitas dan kompetensi SDM, peninjauan kembali posisi BAPETEN di pemerintahan dan pengorganisasian untuk menjamin proses pengawasan yang lebih objektif dan efektif.

**Kata kunci:** konvensi keselamatan nuklir, deklarasi Wina, infrastruktur keselamatan.

### ABSTRACT

A study has been carried out to examine the effect of the Convention on Nuclear Safety on the development of existing nuclear safety infrastructure in Indonesia, as well as to see opportunities for improving this infrastructure in the foreseeable future. The study used a comparative and descriptive analytical method applied to safety standard documents developed by the IAEA, the results of review meeting of the contracting parties to the Convention on Nuclear Safety and international review mission, as well as legislation and regulation in Indonesia. With this method, a roadmap illustrating the relationship between the Convention on Nuclear Safety and the IAEA safety standard documentation and the legal instrument in Indonesia. The study, among others, concludes that the Convention on Nuclear Safety with the instruments under it has been instrumental in the development of nuclear safety infrastructure in Indonesia; The peer review results of the Convention and the international review mission are excellent materials for updating national nuclear safety improvement plans using the resulting roadmap; Opportunities to enhance BAPETEN independence are also open, for example with efforts to increase the capacity and competence of human resources, review of BAPETEN position in government and organizing BAPETEN to ensure a more objective and effective regulatory process.

**Keywords:** nuclear safety convention, Vienna declaration, safety infrastructure.

### I. PENDAHULUAN

Konvensi Keselamatan Nuklir [1], yang untuk selanjutnya disebut sebagai Konvensi, diadopsi di Wina pada tanggal 17 Juni 1994, dibuka untuk ditandatangani pada tanggal 20 September 1994 dan mulai diberlakukan (*entry into force*) pada tanggal 24 Oktober 1996. Artikel 1 Konvensi menggariskan bahwa Konvensi bertujuan: (i) untuk mencapai dan mempertahankan keselamatan nuklir pada tingkatan yang tinggi di seluruh dunia melalui peningkatan upaya nasional dan kerjasama internasional termasuk, jika diperlukan, kerjasama teknis terkait keselamatan; (ii) untuk membangun dan memelihara pertahanan yang efektif di instalasi nuklir terhadap potensi bahaya

radiologis dalam rangka melindungi individu, masyarakat dan lingkungan dari efek berbahaya radiasi pengion dari instalasi tersebut; dan, (iii) untuk mencegah kecelakaan yang memiliki konsekuensi radiologis dan mengurangi dampaknya jika kecelakaan tersebut terjadi.

Dengan tujuan tersebut dapat dilihat bahwa Konvensi didasarkan pada kepentingan bersama Para Pihak dalam mencapai tingkat keselamatan yang lebih tinggi yang akan dikembangkan dan dipromosikan melalui pertemuan rutin. Konvensi mewajibkan Para Pihak untuk menyampaikan laporan tentang pelaksanaan kewajiban mereka dalam acara "*peer review*" pada pertemuan Para Pihak yang diadakan

paling lambat setiap tiga tahun, sesuai dengan Artikel 21 Konvensi. Hingga 3 Maret 2017 tercatat sebanyak 81 Pihak yang memberlakukan Konvensi ini [2].

Untuk pelaksanaannya, Para Pihak menyepakati diterbitkannya tiga pedoman, yaitu mengenai proses review INFCIRC/571/Rev.7 [3], tentang tata cara penyusunan laporan INFCIRC/572/Rev.5 [4], dan aturan prosedur dan pembiayaan INFCIRC/573/Rev.6 [5]. Sebagaimana terlihat pada nomor revisinya, pedoman-pedoman tersebut telah mengalami beberapa kali perubahan sesuai kesepakatan Para Pihak.

Indonesia juga menjadi salah satu Pihak dari Konvensi ini. Bahkan, Indonesia termasuk menjadi yang pertama menandatangani Konvensi pada saat pertama kali dibuka, yaitu tanggal 20 September 1994. Kemudian, Indonesia meratifikasinya melalui Keputusan Presiden No. 106 Tahun 2001 [6] pada tanggal 4 Oktober 2001 dan menyampaikannya kepada Sekretariat, yaitu IAEA, pada tanggal 12 April 2002. Sehingga, Konvensi dinyatakan berlaku tiga bulan sesudahnya, yaitu mulai 11 Juli 2002 [2].

Karena Pertemuan Review pertama kali diadakan pada bulan April 1999, maka Indonesia baru bisa mengikutinya pada Pertemuan ke-3 pada bulan April 2005. Setelah itu Indonesia aktif mengambil bagian dalam setiap Pertemuan Review maupun Pertemuan Tambahan (*Extraordinary Meeting*) yang disepakati, hingga Pertemuan Review ke-7 yang diselenggarakan Maret-April 2017 lalu [7].

Sebagaimana diketahui, setelah kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima Dai-ichi pada bulan Maret 2011 lalu, Pertemuan-pertemuan teknis maupun diplomatik di bawah Konvensi ini menghasilkan Deklarasi Wina tentang Keselamatan Nuklir [8] pada tanggal 9 Februari 2015. Deklarasi ini diharapkan dapat menjadi instrumen tambahan untuk mencegah kecelakaan besar dan mengurangi dampaknya sebagaimana terjadi pada kecelakaan nuklir tersebut. Pada Pertemuan ke-7 lalu Deklarasi Wina menjadi bagian penting dalam pelaporan, *peer-review* dan pembahasan sidang pleno.

Dari uraian di atas, maka masalah utama yang perlu dijawab adalah: Bagaimana Indonesia sebagai *embarking country* dapat mengelola dan memanfaatkan Konvensi ini untuk meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir nasional? Makalah ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan tersebut dan membuat peta jalan untuk menyelesaikannya.

Kajian secara kronologis dilakukan untuk melihat keterkaitan antara Konvensi dengan perkembangan infrastruktur yang ada. Kemudian metode studi perbandingan dan analitik deskriptif diterapkan atas dokumen standar IAEA, hasil-hasil pertemuan revid Konvensi Keselamatan Nuklir dan misi revid internasional, serta peraturan perundang-undangan di Indonesia, guna mengidentifikasi peluang-peluang untuk perbaikan.

## II. POKOK BAHASAN

### II.1 Umum

Konvensi ini hanya mendefinisikan tiga hal yang paling penting dalam membangun infrastruktur keselamatan. Tiga hal tersebut adalah:

- “Instalasi Nuklir” yaitu PLTN sipil yang berada di atas tanah (*land-based*) termasuk fasilitas yang terkait langsung dengannya;
- “Badan Pengawas” yaitu badan atau badan-badan yang memiliki otoritas hukum untuk memberikan Izin dan melakukan pengawasan tapak, desain, konstruksi, komisioning, operasi ataupun dekomisioning suatu Instalasi Nuklir; dan,
- “Izin”, yaitu kewenangan yang diberikan oleh Badan Pengawas kepada pemohon untuk bertanggung-jawab atas tapak, desain, konstruksi, komisioning, operasi ataupun dekomisioning suatu Instalasi Nuklir.

Karena Konvensi ini hanya mencakup Instalasi Nuklir sebagaimana didefinisikan di atas, maka PLTN seperti yang terapung atau ditempatkan di dasar laut atau PLTN untuk keperluan militer tidaklah masuk ke dalam Konvensi. Reaktor Daya komersial ataupun nonkomersial sebagaimana didefinisikan pada PP. No 2 Tahun 2014 [9] termasuk dalam lingkup Konvensi ini. Namun, Reaktor Nondaya tidak masuk ke dalam lingkup Konvensi. Meskipun demikian, Konvensi terbuka bagi Para Pihak yang tidak memiliki Instalasi Nuklir. Pada umumnya, Pihak yang memiliki Reaktor Nondaya diharapkan untuk secara sukarela melaporkan status keselamatan reaktor tersebut.

Format dan isi Laporan Nasional yang harus disampaikan Para Pihak harus sesuai dengan Pedoman INFCIRC/572/Rev.5 [4]. Dalam Laporan ini, Para Pihak yang memiliki Instalasi Nuklir harus melaporkan kewajibannya memenuhi Artikel 6-19 untuk periode tiga tahun terakhir. Sedangkan yang tidak memiliki Instalasi Nuklir hanya diharuskan melaporkan kewajibannya memenuhi Artikel 6-16. Pedoman ini juga meminta agar Para Pihak melaporkan hasil-hasil misi review nasional maupun internasional.

Secara prosedural, Pedoman [3] meminta agar laporan secara jelas menceritakan upaya keselamatan yang dilakukan Pengawas maupun Operator, bukan duplikasi dari laporan sebelumnya, dan tidak bertele-tele sehingga memungkinkan review status keselamatan dilakukan secara menyeluruh.

Hasil *peer-review* dikelompokkan dalam tiga kategori yang diatur pada [3], yaitu:

- “Tantangan” (*Challenge*), adalah masalah yang sulit bagi Para Pihak dan mungkin menuntut usaha keras (lebih dari kegiatan sehari-hari), atau kelemahan yang perlu diatasi;
- “Saran” (*Suggestion*) adalah area untuk perbaikan. Ini adalah tindakan yang diperlukan untuk memperbaiki pelaksanaan kewajiban Konvensi; dan,
- “Praktik yang Baik” (*Good Practice*) adalah praktik, kebijakan atau program baru atau yang telah direvisi yang memberikan kontribusi signifikan terhadap keselamatan nuklir. Praktik yang Baik adalah sesuatu yang telah dicoba dan dibuktikan oleh setidaknya satu Pihak namun belum banyak dilaksanakan oleh Pihak lainnya; dan berlaku untuk Para Pihak lainnya dengan program serupa.

Pedoman pelaporan [4] meminta agar Para Pihak menyampaikan upaya-upaya yang telah dilakukan

untuk menjawab Tantangan dan Saran yang didapat dari Pertemuan Reviu sebelumnya. Pedoman ini juga meminta agar Para Pihak dapat mengidentifikasi Tantangan yang akan dihadapi untuk tiga tahun ke depan. Sebaliknya, Para Pihak tidak dilarang untuk menyampaikan praktik yang diusulkan sebagai Praktik yang Baik yang mereka telah lakukan untuk dinilai dalam *peer-review*.

Untuk Pertemuan Reviu ke-7, Wakil-1 Presiden Konvensi memperkenalkan konsep "Bidang Kinerja yang Baik" (*Area of Good Performance*) [10]. Definisi Bidang Kinerja yang Baik disepakati oleh Para Petugas Pertemuan Reviu ke-7 pada Rapat Petugas Pertemuan CNS tanggal 3-4 Oktober 2016. Bidang Kinerja yang Baik adalah "praktik, kebijakan atau program yang cukup berharga untuk mendapat pujian dan telah dibuat dan dilaksanakan secara efektif. Bidang Kinerja yang Baik adalah pencapaian yang signifikan untuk CP tertentu walaupun mungkin telah diimplementasikan oleh CP lainnya".

Jadwal umum kegiatan Konvensi ini diatur pada INFCIRC/571/Rev.7 [3]. Berdasarkan hal itu, sebagaimana digambarkan pada Lampiran A, Para Pihak wajib menyampaikan Laporan Nasional hingga 7,5 bulan sebelum Pertemuan Reviu. Sehari sesudah tenggat waktu ini, dibuka kesempatan bagi semua Pihak untuk menyampaikan pertanyaan atau komentar atas Laporan Para Pihak manapun hingga empat bulan sebelum Pertemuan. Para pihak kemudian diberi kesempatan untuk menjawabnya selama tiga bulan. Semua prosedur ini dilakukan secara on-line, selain bahwa Laporan Nasional dalam bentuk cetak juga harus disampaikan kepada Sekretariat. Sesuai dengan [3], Pada saat presentasi Para Pihak juga harus menyampaikan pertanyaan dan jawaban di atas.

Pada sesi *peer-review*, Para Pihak dibagi ke dalam kelompok-kelompok untuk melakukan sidang paralel. Di setiap kelompok, ditempatkan empat Petugas: Ketua, Wakil Ketua, Koordinator dan Reporter dengan tugas-tugas sebagaimana diberikan pada [3]. Reporter membacakan hasil *peer-review* pada sidang pleno setelah sidang paralel selesai.

Sidang pleno juga membahas topik-topik upaya peningkatan keselamatan sesuai usulan atau inisiatif yang diajukan Para Pihak yang diharapkan sudah masuk ke Sekretariat sebelum Pertemuan Reviu.

## II.2 Kerangka Peraturan Perundang-undangan

Secara kronologis dapat dilihat bahwa Indonesia menetapkan Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [11], yang menggantikan Undang-Undang No. 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom [12], adalah setelah Indonesia menandatangani Konvensi Keselamatan Nuklir ini pada tanggal 20 September 1994. Berbagai peraturan pelaksana UU No. 10 Tahun 1997 kemudian ditetapkan pada tingkat Peraturan Pemerintah maupun Peraturan Kepala BAPETEN.

Pembentukan kerangka Peraturan Perundang-undangan (PUU) tersebut di atas adalah sejalan dengan Artikel 7 Konvensi yang meminta agar Para Pihak menetapkan dan menjaga kerangka PUU yang mengatur keselamatan instalasi nuklir. Dikatakan juga bahwa

PUU harus menetapkan: persyaratan dan peraturan yang sesuai; sistem perizinan dan larangan pengoperasian tanpa izin yang dikeluarkan Badan Pengawas; sistem inspeksi dan penilaian keselamatan; dan penegakan hukum terhadap aturan yang ada dan masa berlaku izin, termasuk pembekuan sementara, modifikasi ataupun pencabutan izin. Kelengkapan infrastruktur PUU dapat dinilai dengan menggunakan standar IAEA, GSR Part 1 (Rev. 1) [13].

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, Konvensi meminta agar Para Pihak melaporkan hasil-hasil misi review nasional maupun internasional. Dalam hal ini, Indonesia menerima IAEA Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission pada tanggal 2-14 Agustus 2015 [14], dan Indonesia juga melaporkannya secara singkat pada Laporan Nasional untuk Pertemuan Reviu ke-7 yang lalu. IRRS Mission menggunakan GSR Part 1 (Rev. 1) sebagai acuan untuk mengevaluasi kelengkapan infrastruktur peraturan, selain IAEA SSG-16 [15] karena Indonesia dapat dipertimbangkan sebagai negara yang akan membangun PLTN.

Akhirnya, Artikel 9 Konvensi mengatur bahwa Para Pihak wajib memastikan bahwa tanggung jawab utama keselamatan suatu Instalasi Nuklir berada pada pemegang izin yang relevan, dan wajib melakukan tindakan-tindakan yang diperlukan untuk memastikan bahwa pemegang izin tersebut memenuhi tanggung jawabnya.

## II.3 Badan Pengawas

Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 mengamanatkan pembentukan Badan Pengawas dengan seorang Kepala yang ditunjuk dan melapor langsung kepada Presiden RI, yang dengan demikian dianggap sebagai suatu badan cukup mandiri atau independen. BAPETEN kemudian dibentuk melalui Keputusan Presiden No. 76 Tahun 1998 tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir tanggal 19 Mei 1998 [16]. Keppres ini beberapa kali diubah, dan terakhir dengan Perpres No. 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian [17].

Kemandirian BAPETEN ini menjadi sangat penting sebagaimana disyaratkan dalam Artikel 8 Konvensi Keselamatan Nuklir dan standar IAEA seperti: Prinsip ke-2 pada Safety Fundamentals [18], Persyaratan Ke-3 pada GSR Part 1 (Rev. 1) [13], dan Persyaratan ke-2 GSR Part 3 [19]. Landasan untuk menilai kemandirian dapat dilihat pada pedoman IAEA, yaitu GS-G-1.1 [20]. Aspek-aspek yang dinilai adalah: Politis, legislatif, finansial, kompetensi, informasi publik, dan aspek internasional.

Implementasi Artikel 8 juga menuntut agar Badan Pengawas menerapkan Sistem Manajemen, mengelola SDM, melaksanakan kebijakan transparansi dan keterbukaan, serta jika diperlukan dilengkapi dengan Komite Penasihat dan didukung oleh TSO (*Technical Supporting Organization*). Untuk pedoman pengorganisasian dan penetapan staff, IAEA telah

menerbitkan GS-G-1.1 [20]; dan untuk pedoman TSO dapat menggunakan GSG-4 [21].

#### II.4 Keselamatan Secara Umum

Hal-hal umum terkait keselamatan yang perlu dipertimbangan termuat pada bagian (c) Konvensi, yaitu: Prioritas keselamatan, sumber daya finansial dan manusia, faktor manusia, jaminan mutu, penilaian dan verifikasi keselamatan, proteksi radiasi, dan kesiapsiagaan nuklir. Dengan demikian, bagian ini wajib dilaporkan oleh semua Pihak, bagi yang memiliki maupun tidak memiliki Instalasi Nuklir.

Berbagai topik berikut dan referensi utama IAEA yang sesuai adalah sejalan dengan Pedoman [4] untuk melaksanakan bagian (c) Konvensi:

- Budaya Keselamatan: SS No. 75-INSAG-4 [22];
- Sistem Manajemen: GSR Part 2 [23];
- SDM: GS-G-1.1 [21] dan NG-G-2.1 [24];
- Faktor Manusia: TECDOC 1479 [25], TECDOC 1204 [26], dan TECDOC 943 [27];
- Penilaian dan Verifikasi Keselamatan: GSR Part 4 [28];
- Proteksi Radiasi: GSR Part 3 [19]; dan
- Kesiapsiagaan Nuklir: GSR Part 7 [29].

#### II.5 Keselamatan Instalasi Nuklir

Bagian ini memberikan persyaratan keselamatan secara rinci untuk Instalasi Nuklir, dari mulai tapak, desain dan konstruksi, hingga operasi. Untuk Pihak yang memiliki reaktor riset, pada umumnya dihibau untuk melaporkan pula mengenai bagian-bagian tersebut.

Artikel 17 Konvensi mengatur persyaratan keselamatan tapak. Hal-hal yang harus dilaporkan adalah persyaratan, kriteria dan pemenuhannya untuk aspek-aspek terkait sifat-sifat alami di sekitar tapak maupun kegiatan akibat ulah manusia yang dapat memengaruhi keselamatan Instalasi Nuklir (termasuk keagagalan multi-unit dalam satu tapak). Aspek-aspek tersebut adalah sbb: kegempaan, geoteknik dan pondasi; kegunungpian; meteorologi; hidrologi dan tsunami; kejadian akibat ulah manusia; demografi; tata ruang dan air; dan dispersi. Standar IAEA yang digunakan untuk keselamatan tapak secara umum adalah NS-R-3 (Rev. 1) "Site Evaluation for Nuclear Installations" [30]; SSG-35 "Site Survey and Site Selection for Nuclear Installation" [31], dan, NG-T-3.7 "Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants" [32]. Selain itu, standar spesifik untuk masing-masing aspek di atas dapat dilihat pada Lampiran B. Selain itu, Para Pihak juga harus menguraikan dampak Instalasi terhadap individu, masyarakat dan lingkungan hidup; reevaluasi tapak dan status terkini; serta hasil konsultasi publik.

Hal-hal desain dan konstruksi instalasi nuklir diatur pada Artikel 18 Konvensi. Dalam hal ini, Para Pihak diminta untuk melaporkan implementasi sistem pertahanan berlapis; penerapan teknologi teruji; desain yang memungkinkan operasi secara handal, stabil dan dapat dikelola dengan baik. Untuk itu, standar IAEA yang menjadi acuan utama adalah SSR-2/1 (Rev. 1) "Safety of Nuclear Power Plants: Design" [33]. Standar yang lebih teknis untuk desain PLTN dapat dilihat pada Lampiran B.

Artikel 19 memberi persyaratan keselamatan operasi Instalasi Nuklir. Para Pihak wajib melaporkan mengenai proses otorisasi awal; batasan dan kondisi operasi; prosedur operasi, perawatan, inspeksi dan pengujian; prosedur untuk menanggapi kejadian-kejadian operasional dan kecelakaan; dukungan rekayasa dan teknis; pelaporan insiden yang penting dari segi keselamatan; umpan balik pengalaman operasional; dan, manajemen bahan bakar bekas dan limbah radioaktif. Standar IAEA yang menjadi acuan utama di sini adalah SSR-2/2 (Rev. 1) "Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation" [34]. Standar yang lebih teknis untuk komisioning dan pengoperasian PLTN dapat dilihat pada Lampiran B.

#### II.6 Deklarasi Wina

Deklarasi Wina menyepakati tiga prinsip:

- (1). PLTN baru harus dirancang, ditempatkan pada tapak dan dibangun sesuai dengan tujuan: untuk mencegah kecelakaan pada saat komisioning dan operasi; dan untuk mengurangi kemungkinan pelepasan radionuklida yang menyebabkan kontaminasi tapak jangka panjang dan menghindari pelepasan awal atau pelepasan radioaktif yang cukup besar sehingga memerlukan tindakan perlindungan jangka panjang jika terjadi kecelakaan;
- (2). Penilaian keselamatan yang menyeluruh dan sistematis harus dilakukan secara berkala dan teratur untuk instalasi sepanjang usia mereka untuk mengidentifikasi perbaikan keselamatan yang berorientasi untuk memenuhi tujuan di atas. Perbaikan keselamatan yang cukup praktis atau bisa dicapai harus dilaksanakan tepat waktu; dan,
- (3). Persyaratan dan peraturan nasional untuk menangani tujuan ini di sepanjang masa PLTN harus mempertimbangkan Standar Keselamatan yang relevan dari IAEA dan, jika sesuai, praktik yang baik yang diidentifikasi antara lain dalam Pertemuan Reviu CNS.

Untuk Prinsip ke-1, pembahasan pada Pertemuan Reviu Ke-7 menyepakati bahwa adopsi SSR2/1 (Rev. 1) [33] dianggap telah memadai. Kemudian, Penilaian Keselamatan Berkala sebagaimana diminta Prinsip ke-2 harus diatur dalam PUU dan dilaksanakan oleh Pemegang Izin serta dievaluasi oleh Badan Pengawas dengan kompetensi yang memadai. Pada akhirnya, setiap PUU yang dikembangkan oleh Badan Pengawas harus mempertimbangkan standar keselamatan yang diterbitkan IAEA dan praktik yang baik komunitas internasional.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### III.1 Umum

Fakta bahwa Indonesia menetapkan UU No. 10 tahun 1997 setelah menandatangani Konvensi dapat dinilai sebagai ikut mendorong terbentuknya kerangka PUU yang menjamin keselamatan nuklir. UU ini juga membentuk Badan Pengawas yang dinilai cukup mandiri, dan hal ini juga sesuai dengan Konvensi. Ketika Badan Pengawas yang terbentuk, yaitu BAPETEN, telah cukup mengembangkan PUU melalui beberapa PP terkait keselamatan dan perizinan, maka Indonesia kemudian meratifikasi dan menyatakan

pemberlakuan Konvensi. Hal ini membuktikan korelasi yang kuat antara Konvensi dan upaya peningkatan infrastruktur keselamatan nuklir di Indonesia, dan hal ini bersifat dinamis serta berkelanjutan. Artinya, di satu sisi Konvensi dapat digunakan untuk terus meningkatkan infrastruktur keselamatan nasional, di sisi lain Indonesia juga dapat berkontribusi dalam meningkatkan kinerja Konvensi.

Pada Pertemuan review ke-7 Maret-April lalu, Indonesia menerima beberapa Tantangan terkait kerangka PUU untuk Instalasi Nuklir berskala kecil, peningkatan kapasitas dan SDM Pengawas, serta manajemen penuaan fasilitas yang ada. Saran yang diberikan adalah agar Indonesia melaporkan secara lebih rinci hasil-hasil review internasional dan upaya-upaya yang telah dilakukan pada Pertemuan Reviu yang akan datang. Sedangkan Bidang Kinerja yang Baik didapat dari kenyataan bahwa Indonesia telah secara intensif memanfaatkan misi review internasional seperti IRRS, EPREV (terkait kesiap-siagaan nuklir) dan SEED (terkait keselamatan tapak PLTN); membangun I-CoNSEP sebagai upaya untuk meningkatkan komunikasi dan koordinasi nasional maupun internasional; dan telah menerapkan sistem database yang menyeluruh berbasis jaringan untuk fungsi pengawasan.

Hasil-hasil di atas tentunya bersifat umum. Hasil-hasil yang lebih rinci tertuang dalam beberapa reviu mandiri seperti di atas. Dengan demikian, keuntungan maksimal hanya bisa kita dapatkan apabila hasil-hasil Pertemuan Reviu dan misi reviu internasional dituangkan menjadi agenda perbaikan Renstra maupun Renja baik oleh Badan Pengawas maupun oleh Pemegang Izin.

### III.2 Kerangka Peraturan Perundang-undangan

Artikel 7 Konvensi memberi persyaratan dasar mengenai perlunya membangun kerangka PUU yang kokoh. Tanpa ada PUU yang baik maka tidaklah mungkin membangun, melaksanakan dan menjamin keselamatan. Pedoman pelaporan [3] dan Prinsip ke-3 Deklarasi Wina [8] merujuk pada Standar IAEA GSR Part 1 (Rev. 1) [13] dan SSG-16 [15]. IAEA dan komunitas internasional Konvensi merekomendasikan agar Para Pihak meminta IAEA untuk mengevaluasi pencapaian PUU dalam menjamin keselamatan nuklir melalui reviu internasional IRRS Mission, dan melakukan pembaharuan secara berkala (*Follow-up IRRS Mission*) yang hendaknya dilakukan setiap 5-7 tahun.

Indonesia telah menerima laporan hasil IRRS Mission [14], dengan 24 Rekomendasi, 37 Saran (*Suggestion*), dan 3 Praktik yang Baik. Sejalan dengan semangat Konvensi, Indonesia diharapkan dapat mempresentasikan upaya-upaya dalam menanggapi Rekomendasi dan Saran tersebut pada Pertemuan Reviu berikutnya. Demikian juga dengan hasil-hasil dari misi EPREV, SEED atau yang lainnya sejauh relevan. Lampiran B memetakan Artikel-artikel Konvensi, standar IAEA dan instrumen nasional yang relevan. Lampiran ini diharapkan dapat digunakan sebagai peta jalan pengembangan infrastruktur keselamatan nuklir nasional.

### III.3 Badan Pengawas

Merujuk pada standar IAEA GS-G-1.1 [20], BAPETEN dapat dinilai sebagai Badan Pengawas yang cukup mandiri dari aspek politis, legislatif, finansial, kompetensi, informasi publik, aspek internasional. Secara politis, Kepala BAPETEN melapor langsung ke pimpinan tertinggi pemerintahan. Secara legislatif, kemandirian BAPETEN dijamin UU No. 10 tentang Ketenaganukliran. Keputusan pendanaan pengawasan, penyampaian informasi publik dan kerja sama internasional BAPETEN juga tidak bergantung pada pemegang izin BAPETEN.

Tertinggal suatu tantangan yang cukup krusial yaitu pengembangan kompetensi staf secara berkelanjutan. Upaya BAPETEN untuk hal ini tidaklah sedikit. Namun, dengan berbagai tantangan dan kendala yang dihadapi BAPETEN saat ini, dengan banyaknya pemegang izin sumber radiasi yang tersebar di seluruh Indonesia dan antisipasi masuknya PLTN, maka Tim IRRS merekomendasikan agar Pemerintah menjamin kecukupan SDM BAPETEN untuk dapat melaksanakan tugasnya. Selain itu, Tim ini juga menyarankan agar BAPETEN mempertimbangkan untuk mengundang misi IAEA *Education and Training Appraisal Service* (EduTA) [14].

Dari aspek politis, sebetulnya BAPETEN juga memiliki tantangan. Sesuai dengan Surat Edaran Setkab No. 1 Tahun 2015 [35] dan PUU tentang Lembaga Pemerintah Non Kementerian, pengajuan usul pengangkatan, pemindahan, dan pemberhentian Pimpinan Tinggi Utama dan Madya di BAPETEN maupun BATAN disampaikan oleh Pimpinan Kemenristekdikti. Sebagaimana diketahui, BATAN adalah pemegang izin BAPETEN untuk beberapa fasilitas nuklir yang mereka operasikan, dan saat ini pun sedang mengupayakan pembangunan dan pengoperasian reaktor daya nonkomersial. Tingkat kemandirian BAPETEN tentu saja menjadi berbeda apabila dikoordinasikan oleh kementerian yang di bawahnya pun tidak ada instansi yang menjadi pemegang izin BAPETEN.

Pengambilan Keputusan Tata Usaha Negara (KTUN) BAPETEN dilakukan oleh Kepala BAPETEN. Sebagai perbandingan, pengambilan KTUN di beberapa badan pengawas negara maju pemilik PLTN seperti AS, Jepang, Kanada, Prancis, dan bahkan Uni Emirat Arab dilakukan oleh beberapa orang komisioner, sebagaimana dapat dilihat pada laman jaringan masing-masing. Penggunaan beberapa orang komisioner tentu dilakukan untuk menjamin proses yang lebih objektif dan efektif dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, ada beberapa peluang untuk meningkatkan kemandirian dan kompetensi BAPETEN.

### III.4 Peningkatan Keselamatan

Pokok-pokok bahasan pada Bab II berujung pada penyusunan peta jalan sebagaimana digambarkan pada Lampiran B. Hal ini juga menunjukkan bahwa Konvensi ikut mengarahkan pengembangan standar keselamatan IAEA dan misi-misi reviu internasional, yang pada gilirannya diharapkan akan meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir Para Pihak termasuk

Indonesia. Hasil-hasil *peer review* Konvensi dan misi revidi internasional bersama-sama dengan peta jalan yang dikembangkan seharusnya diintegrasikan ke dalam dokumen perencanaan BAPETEN.

Dengan kewajiban menyampaikan Laporan Nasional paling lambat 7,5 bulan sebelum pelaksanaan Pertemuan Revidi berikutnya, maka hanya tersisa dua tahun efektif untuk merencanakan dan menyelesaikan berbagai Tantangan atau Rekomendasi dan Saran yang didapat dari *peer review* Konvensi dan misi revidi internasional. Hal ini tentu saja menuntut komitmen yang sangat tinggi dari Badan Pengawas. Tanpanya, peluang untuk meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir secara berkesinambungan akan menjadi semakin kecil.

Apabila komitmen tinggi pada keselamatan sudah dilakukan secara konsisten, yang dengannya hasil *peer review* Konvensi dan misi revidi internasional kemudian menjadi cukup baik, maka kita tidak boleh segera berpuas diri. Sebab, “rasa puas (*complacency*) sering merupakan prekursor penurunan serius dalam Budaya Keselamatan”. [36]. Untuk itu, Laporan Nasional Konvensi yang dibuat Para Pihak, termasuk Indonesia dapat menyampaikan identifikasi Tantangan yang dihadapi di masa depan.

#### IV. KESIMPULAN

1. Konvensi Keselamatan Nuklir dengan instrumen di bawahnya, yaitu standar keselamatan IAEA dan misi revidi internasional, telah berperan dalam pengembangan infrastruktur keselamatan nuklir di Indonesia, termasuk dalam pembentukan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan badan pengawas yang mandiri.
2. Konvensi dan deklarasi Wina harus dapat digunakan untuk meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir nasional. Sebaliknya, Para Pihak juga diharapkan untuk berkontribusi dalam mempertinggi kinerja Konvensi.
3. Hasil *peer review* Konvensi dan misi revidi internasional, yang berupa Tantangan atau Rekomendasi, Saran, Praktik yang Baik, dan Bidang Kinerja yang Baik, merupakan bahan yang sangat baik untuk menyusun dan/atau memperbaharui perencanaan peningkatan keselamatan nuklir nasional.
4. Untuk mencegah rasa puas terhadap pencapaian keselamatan, karena rasa puas adalah musuh utama Budaya Keselamatan, maka Konvensi memberi peluang kepada Para Pihak untuk menyampaikan Tantangan yang akan dihadapinya di masa yang akan datang.
5. Ada beberapa peluang untuk meningkatkan kemandirian BAPETEN, antara lain dengan upaya-upaya peningkatan kapasitas dan kompetensi SDM, dengan meninjau kembali posisi BAPETEN dalam struktur pemerintahan agar tidak berada di bawah suatu kementerian yang di bawahnya terdapat pemegang izin BAPETEN, dan dengan pengorganisasian untuk menjamin proses pengawasan yang lebih objektif dan efektif.
6. Lampiran A dapat digunakan sebagai kendali waktu dalam penyusunan Laporan Nasional dan

perencanaan tindak lanjut hasil *peer review* Konvensi dan misi-misi Revidi internasional. Sementara itu, Lampiran B juga dapat digunakan sebagai model peta jalan yang merupakan dokumen hidup untuk terus diperbaharui dan digunakan dalam perencanaan dan pelaporan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

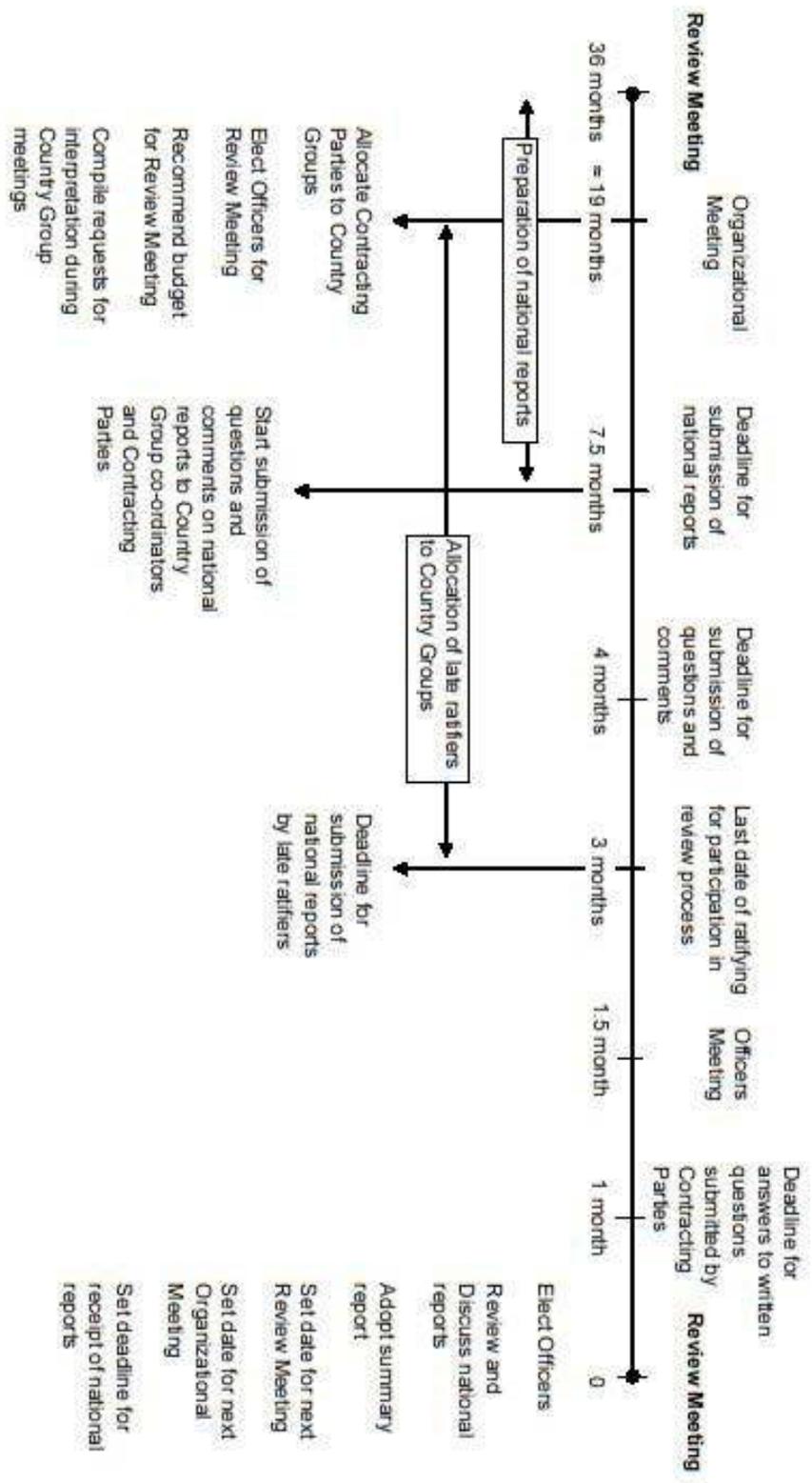
Para penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Pimpinan dan Manajemen BAPETEN dan Kementerian Luar Negeri RI yang telah memunkinkan Indonesia menempatkan salah seorang staf menjadi *Rapporteur* pada pertemuan revidi ke-7 Konvensi Keselamatan Nuklir yang diselenggarakan di Wina tanggal 27 Maret – 7 April 2017.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (1994), INFCIRC/449 Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [2] IAEA (2017), Registration No. 1676 Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [3] IAEA (2015), INFCIRC/571/Rev.7 Guidelines regarding the Review Process under Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [4] IAEA (2015), INFCIRC/572/Rev.5 Guidelines regarding National Reports under Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [5] IAEA (2015), INFCIRC/573/Rev.6 Convention on Nuclear Safety Rules of Procedure and Financial Rules, Vienna.
- [6] Republik Indonesia (2001), Keputusan Presiden No. 106 Tahun 2001 tentang Pengesahan Convention on Nuclear Safety (Konvensi tentang Keselamatan Nuklir), Jakarta.
- [7] Ramzi Jammal, Georg Schwarz, and Geoffrey Emi-Reynolds (2017), CNS/7RM/2017/08/Final 7th Review Meeting of the Contracting Parties to The Convention on Nuclear Safety, IAEA, Vienna.
- [8] \_\_\_\_\_ (2015), CNS/DC/2015/2/Rev.1 Vienna Declaration on Nuclear Safety, IAEA, Vienna.
- [9] Republik Indonesia (2001), Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta.
- [10] \_\_\_\_\_ (2016), Convention on Nuclear Safety Officers' Meeting Minutes 3 to 4 October 2016, Vienna, IAEA headquarters sebagaimana diunduh pada tanggal 9 Juni 2017 melalui [https://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety\\_convention/7th-review-meeting/7th-rm-statement-of-the-president\\_en.pdf](https://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety_convention/7th-review-meeting/7th-rm-statement-of-the-president_en.pdf)
- [11] Republik Indonesia (1997), Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Jakarta.
- [12] Republik Indonesia (1964), Undang-undang No. 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom, Jakarta.
- [13] IAEA (2016), GSR Part 1 (Rev. 1) Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety, Vienna.
- [14] IAEA (2010), IAEA-NS-IRRS 2015/10 Report of the Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Indonesia, Vienna.

- [15] IAEA (2010), SSG-16 Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme, Vienna.
- [16] Republik Indonesia (1998), Keputusan Presiden No. 76 Tahun 1998 tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- [17] Republik Indonesia (1998), Perpres No. 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian, Jakarta.
- [18] IAEA (2006), SF-1 Fundamental Safety Principles, Vienna.
- [19] IAEA (2014), GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna.
- [20] IAEA (2002), GS-G-1.1 Organization and Staffing of the Regulatory Body for Nuclear Facilities, Vienna.
- [21] IAEA (2013), GSG-4, Use of External Experts by the Regulatory Body, Vienna.
- [22] IAEA (1991), Safety Series No.75-INSAG-4, Safety Culture, Vienna.
- [23] IAEA (2016), GSR Part 2 Leadership and Management for Safety, Vienna.
- [24] IAEA (2009), NG-G-2.1 Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy, Vienna.
- [25] IAEA (2005), TECDOC-1479 Human performance improvement in organizations: Potential application for the nuclear industry, Vienna.
- [26] IAEA (2001), TECDOC-1204 A systematic approach to human performance improvement in nuclear power plants: Training solutions, Vienna.
- [27] IAEA (1997), TECDOC-943 Organizational factors influencing human performance in nuclear power plants, Vienna.
- [28] IAEA (2009), GSR Part 4 Safety Assessment for Facilities and Activities, Vienna.
- [29] IAEA (2015), GSR Part 7 Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna.
- [30] IAEA (2016), NS-R-3 (Rev. 1) Site Evaluation for Nuclear Installations, Vienna.
- [31] IAEA (2015), SSG-35 Site Survey and Site Selection for Nuclear Installation”, Vienna.
- [32] IAEA (2012), NG-T-3.7 Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants, Vienna.
- [33] IAEA (2016), SSR-2/1 (Rev. 1) Safety of Nuclear Power Plants: Design, Vienna.
- [34] IAEA (2016), SSR-2/2 (Rev. 1) “Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation, Vienna.
- [35] Republik Indonesia (2015), Surat Edaran Setkab No. 1 Tahun 2015 tentang Pengajuan Usul Pengangkatan, Pemindahan dan Pemberhentian dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Utama dan Pimpinan Tinggi Madya, Jakarta.
- [36] IAEA (2009), GS-G-3.5 The Management System for Nuclear Installations, Vienna.

Lampiran A. Jadwal Persiapan Pelaksanaan Konvensi Keselamatan Nuklir



## Lampiran B. Peta Dokumentasi di bawah Konvensi Keselamatan Nuklir

Catatan: Standar IAEA<sup>\*)</sup> hingga akhir Mei 2017.

No.	Artikel Konvensi dan uraian	Dokumen IAEA <sup>*)</sup>	Topik Dokumen Nasional yang Sesuai	Keterangan
1.	Artikel 6 Instalasi Nuklir (IN) yang Ada		Melaporkan IN yang ada, status operasi, masalah keselamatan yang dihadapi, dan upaya peningkatan keselamatan yang telah dilakukan 3 tahun terakhir, serta rencana peningkatan ke depan.	
2.	Artikel 7 Kerangka PUU - Penetapan dan pembaharuan UU; - Persyaratan dan peraturan keselamatan nasional - Sistem perizinan - Sistem inspeksi dan penilaian - Penegakan hukum (PH) dan masa laku izin	SF-1 GSR Part 1 (Rev. 1) SSG-12; SSG-16.	- UU dan Perjanjian Internasional yang Indonesia menjadi Pihak; - PUU Keselamatan dan Perizinan; - PUU, Kebijakan dan proses pelaksanaan Inspeksi dan penilaian status izin; - PUU PH, termasuk tata cara pembekuan, penolakan dan pencabutan izin.	PUU yang terbit 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan; PUU lama cukup diberi acuan.
3.	Artikel 8 Badan Pengawas (BP) - Penetapan BP - Status (independensi) BP	SF-1 GSR Part 1 (Rev. 1) GSR Part 2 GSR Part 3 GS-G-1.1 GS-G-1.4 GSG-4	- PUU Pembentukan BAPETEN; - PUU OTK dan Struktur Organisasi; - Sistem Manajemen BAPETEN; - Kebijakan Komisi penasihat dan TSO; - Kebijakan nasional yang menjamin kecukupan finansial dan SDM; - UU KIP dan Kebijakan transparansi & keterbukaan.	PUU dan kebijakan terkait dan pelaksanaannya; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
4.	Artikel 9 Tanggung Jawab PI - Pengaturan bahwa tanggungjawab utama keselamatan ada pada PI; - Cara PI memenuhi tanggung jawab keselamatan; - Cara PI menjaga transparansi dan keterbukaan; - Cara Pengawas memastikan bahwa PI melaksanakan tanggung jawab keselamatan.	SF-1 GSR Part 1 (Rev. 1) GSR Part 3	- PUU yang mengatur bahwa tanggungjawab utama keselamatan ada pada PI; - Kebijakan dan proses PI memenuhi tanggung jawab keselamatan; - UU KIP; Kebijakan dan proses PI menjaga transparansi dan keterbukaan; - Kebijakan dan proses pengawasan BP untuk memastikan PI melaksanakan tanggung jawab keselamatan.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
5.	Artikel 10 Prioritas Keselamatan - Kebijakan keselamatan; - Budaya Keselamatan dan Sistem Manajemen; - Pemantauan dan penilaian diri dalam keselamatan; - Penilaian mandiri dan upaya peningkatan keselamatan.	SF-1 GSR Pat 1 GSR Part 2 GS-G-3.5 INSAG-4 GSR Part 4	- PUU Keselamatan; - Kebijakan Keselamatan, termasuk Kebijakan Budaya Keselamatan Nasional (atau pada PI dan BP). - Sistem Manajemen Terintegrasi atau Kepemimpinan dan Manajemen Keselamatan; - Kebijakan dan praktik pemantauan dan penilaian internal, penilaian eksternal dan revidu manajemen dalam bidang keselamatan; - Upaya-upaya teknis dan manajerial dalam peningkatan keselamatan.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI dan BP; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
6.	Artikel 11 Sumber Daya Finansial dan Manusia - Jaminan kecukupan pembiayaan peningkatan keselamatan selama masa operasi, dekomisioning dan pengelolaan bahan bakar bekas dan limbah radioaktif yang dihasilkannya; termasuk jaminan ketersediaan dana untuk penanggulangan kedaruratan radiologis; - Pengaturan kepegawaian; analisis kecukupan dan kompetensi; pelatihan dan pelatihan ulang,	GSR Part 1 (Rev. 1) NG-T-4.1 GS-G-1.1 NG-G-2.1 NS-G-4.5.	- PUU tentang jaminan kecukupan keuangan BP dan PI, dekomisioning dan pertanggung-jawaban kerugian nuklir, dsb.; - Kebijakan nasional kepegawaian, dan proses penyediaan dan pengelolaan SDM BP dan PI. - Kebijakan dan proses pengawasan BP untuk memastikan PI ketersediaan pendanaan dan SDM.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI dan BP; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.

No.	Artikel Konvensi dan uraian	Dokumen IAEA <sup>*)</sup>	Topik Dokumen Nasional yang Sesuai	Keterangan
	termasuk penggunaan simulator; personil alih daya; pasokan SDM; dsb. - Kendali pengawasan.			
7.	Artikel 12 Faktor Manusia - Pengaturan faktor manusia dan organisasional; - Manajemen faktor manusia, termasuk pertimbangan dalam desain dan umpan balik dari pengalaman; - Kendali pengawasan.	TECDOC 1479; TECDOC 1204; TECDOC 943	- PUU tentang manajemen faktor manusia dan organisasional; - Kebijakan dan pelaksanaan manajemen faktor manusia dan organisasional, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI dan BP; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
8.	Artikel 13 Jaminan Mutu - Pengaturan jaminan mutu atau sistem manajemen; - Kebijakan dan proses audit internal audit terhadap vendor oleh PI; - Kendali pengawasan.	GSR Part 2 GS-G-3.5 GS-G-3.2	- PUU tentang Sistem Manajemen; - Kebijakan dan pelaksanaan Sistem Manajemen oleh PI, dan pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI dan BP; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
9.	Artikel 14 Penilaian dan Verifikasi Keselamatan - Pengaturan penilaian dan verifikasi keselamatan, termasuk: Penilaian berkala keselamatan; In-service inspection, surveilans, testing, dsb; Manajemen penuaan; - Kendali pengawasan.	GSR Part 4 SSG-25; GS-G-1.2; GS-G-1.3; NS-G-2.6; NS-G-2.12; SSG-10;	- PUU tentang penilaian dan verifikasi keselamatan; - Kebijakan dan proses penilaian dan verifikasi keselamatan oleh PI, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
10.	Artikel 15 Proteksi Radiasi - Pengaturan proteksi radiasi, termasuk penerapan prinsip ALARA; - Kendali pengawasan.	GSR Part 3 RS-G-1.1; RS-G-1.2; RS-G-1.3; RS-G-1.4; RS-G-1.8; NS-G-1.3; NS-G-4.6.	- PUU tentang Proteksi Radiasi; - Kebijakan dan proses pelaksanaan Proteksi Radiasi oleh PI, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
11.	Artikel 16 Kesiapsiagaan Nuklir - Pengaturan rencana dan program kesiapsiagaan, termasuk klasifikasi, elemen utama, fasilitas, latihan, dan perjanjian dengan negara tetangga; - Pengaturan informasi publik dan perjanjian dengan negara tetangga; - Kendali pengawasan.	GSR Part 7; GS-G-2.1; Tecdoc 953 updated, 1092, 1162; EPR-NPP-OILs; EPR-Public Comm. 2012.	- PUU tentang Kesiapsiagaan Nuklir, termasuk <i>joint convention on early notification and assistance</i> ; - Kebijakan dan proses pelaksanaan kesiapsiagaan nuklir oleh PI, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
12.	Artikel 17 Tapak - Pengaturan evaluasi faktor-faktor terkait tapak, akibat ulah manusia maupun alam; - Pengaturan dampak terhadap individu, masyarakat dan lingkungan hidup; - Pengaturan kaji ulang tapak dan faktor-faktornya; - Pengaturan konsultasi dengan pemangku kepentingan; - Kendali pengawasan.	NS-R-3 (Rev. 1); NS-G-3.1 s/d NS-G-3.13; SSG-9; SSG-18; SSG-21; SSG-35.	- PUU Perizinan Tapak; - Kebijakan dan proses pelaksanaan keselamatan tapak, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.
13.	Artikel 18 Desain dan Konstruksi - Pengaturan sistem pertahanan berlapis; - Pengaturan penggunaan teknologi teruji; - Pengaturan desain yang handal,	SSR-2/1 (Rev. 1); NS-G-1.1 s/d NS-G-1.13;	- PUU Perizinan Desain dan Konstruksi; - Kebijakan dan proses pelaksanaan keselamatan desain dan konstruksi, serta pengawasannya oleh BP.	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang

No.	Artikel Konvensi dan uraian	Dokumen IAEA <sup>*)</sup>	Topik Dokumen Nasional yang Sesuai	Keterangan
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- stabil dan mampu dikendalikan;</li> <li>- Kendali pengawasan.</li> </ul>	SSG-34; SSG-38; SSG-39.		dihadapi; Rencana ke depan.
14.	Artikel 19 Operasi <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan otorisasi awal, termasuk komisioning;</li> <li>- Pengaturan batasan dan kondisi operasi;</li> <li>- Pengaturan prosedur, perawatan, inspeksi dan pengujian;</li> <li>- Pengaturan respons terhadap kejadian operasional dan kecelakaan;</li> <li>- Pengaturan dukungan rekayasa dan teknis;</li> <li>- Pengaturan pelaporan insiden yang penting bagi keselamatan;</li> <li>- Pengaturan umpan balik dari pengalaman;</li> <li>- Pengaturan manajemen bahan bakar bekas dan limbah radioaktif.</li> <li>- Kendali pengawasan.</li> </ul>	SSR-2/2;  NS-G-2.1 s/d NS-G-2.15;  GS-G-4.1 SSG-2; SSG-3; SSG-4; SSG-13; SSG-15; SSG-27; SSG-28; SSG-30; SSG-40.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PUU Perizinan Komisioning Operasi;</li> <li>- PUU Keselamatan dalam pengoperasian;</li> <li>- Kebijakan dan proses pelaksanaan keselamatan operasi, serta pengawasannya oleh BP.</li> </ul>	PUU dan Kebijakan terkait dan pelaksanaannya oleh PI; Pengawasan BP; Status 3 tahun terakhir; Permasalahan yang dihadapi; Rencana ke depan.



## PENERAPAN KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM REGULASI KETENAGANUKLIRAN

**Susilo Widodo**

*Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Yogyakarta*  
swidodo@batan.go.id

### **ABSTRAK:**

Konvensi tentang ketidakpastian pengukuran telah diterima secara luas dan menjadi salah satu persyaratan laboratorium yang menerapkan sistem manajemen mutu berbasis ISO 17025, namun masih ada masalah dalam penerapannya dalam penilaian kesesuaian atau kepatuhan terhadap suatu regulasi yang menerapkan ambang batas. Studi pendahuluan tentang implementasi ketidakpastian pengukuran dalam regulasi ketenaganukliran telah dilakukan dengan membandingkannya dengan regulasi non-ketenaganukliran. Beberapa regulasi ketenaganukliran yang relevan beserta rujukannya dalam bentuk rekomendasi dari organisasi internasional, seperti IAEA, ICRP dan ISO dipelajari dan dibandingkan dengan rekomendasi non-ketenaganukliran. Dari studi ini terungkap bahwa ada nuansa kesamaan dan perbedaan antara kedua regulasi terkait sejauh mana ketidakpastian pengukuran dituangkan dalam regulasi. Salah satu kesamaannya adalah bahwa keduanya menerapkan konsep margin terhadap suatu batasan walaupun ada perbedaan dalam metode penentuannya. Adapun salah satu perbedaannya adalah bahwa penilaian kesesuaian dalam regulasi ketenaganukliran cenderung menitikberatkan aspek keselamatan dengan kepercayaan tinggi, sedangkan dalam regulasi non-ketenaganukliran cenderung mempertimbangkan risiko jika terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan dalam rangka menghindari sanksi bagi pihak yang tidak bersalah. Dapat disimpulkan bahwa regulasi di bidang ketenaganukliran yang ada belum sepenuhnya memperhitungkan ketidakpastian pengukuran sehingga belum sepenuhnya menjawab permasalahan terkait hasil pengukuran yang nilainya berada di sekitar batas peraturan.

**Kata kunci:** ketidakpastian pengukuran, regulasi ketenaganukliran, batas regulasi, margin keselamatan

### **ABSTRACT:**

*Convention on measurement uncertainty has been widely accepted and has become one of the laboratory requirements that implements ISO 17025 quality management system but its implementation still have problems in conformity assessment or compliance assessment of a regulation that implements the threshold. A preliminary study on the implementation of measurement uncertainty in nuclear regulation has been done by comparing it with its implementation in non-nuclear regulation. Several relevant nuclear regulations and their references in the form of recommendations from international organizations, such as the IAEA, ICRP and ISO have been studied and compared with non-nuclear recommendations. From this study revealed that there are nuances of similarities and differences between the two regulations related to the extent to which the measurement uncertainty is poured in the regulation. One of similarities is that both regulations apply the concept of margin to a limit, although there is a difference in the method of determining the margin. One of differences is that conformity assessment in nuclear regulation tends to emphasize the safety aspect with high confidence, whereas in non-nuclear regulation tends to take into account the risks of mistakes in decision-making in order to avoid sanctions for the innocent. It can be concluded that the existing regulation in the nuclear field has not fully taken into account the measurement uncertainty so that it has not fully addressed the issue of measurement results whose value is around the regulatory limit.*

**Keywords:** measurement uncertainty, nuclear regulation, regulatory limit, safety margin

### **I. PENDAHULUAN**

Regulasi terkait ketenaganukliran, khususnya terkait keselamatan nuklir dan keselamatan radiasi hampir dipastikan melibatkan besaran fisika yang perlu diukur dengan suatu alat ukur tertentu. Sebagai contoh, di dalam regulasi terkait dengan keselamatan radiasi dikenal adanya batasan dosis radiasi (dosis efektif) yang boleh diterima oleh pekerja radiasi rata-rata per tahun sebesar 20 mSv selama 5 tahun berturut turut (100 mSv dalam 5 tahun) dan 50 mSv dalam satu tahun tertentu [1]. Untuk memantau penerimaan dosis pekerja radiasi tersebut diperlukan

suatu alat ukur radiasi untuk mendemonstrasikan kepatuhan terhadap batas dosis yang ditetapkan regulator. Berdasarkan ketentuan GUM 6.2.1 [2], pelaporan hasil pengukuran harus disertai dengan hasil evaluasi ketidakpastian pengukurannya, dan dinyatakan sebagai  $Y = y \pm U$ , dengan  $y$  adalah perkiraan terbaik dari nilai yang diperoleh dari pengukuran,  $U$  adalah ketidakpastian pengukuran yang diperluas (*extended uncertainty*) dan  $Y$  adalah harga pendekatan terhadap harga sebenarnya (*true value*) yang berkisar antara  $y - U$  dan  $y + U$ . Telah menjadi konsensus di bidang metrologi, termasuk juga di

bidang metrologi radiasi bahwa tanpa disertai pernyataan ketidakpastian maka hasil suatu pengukuran dipandang tidak sah dan tidak dapat diterima. Dalam sejarahnya, sebelum terjadi konsensus, pada tahun 1977 Comité International des Poids et Mesures (CIPM), sebagai otoritas tertinggi di bidang metrologi telah meminta Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) untuk mengeluarkan rekomendasi sebagai panduan prosedur pernyataan ketidakpastian pengukuran. Rekomendasi yang dirumuskan oleh suatu kelompok kerja yang dibentuk BIPM telah disetujui CIPM pada tahun 1981 [3]. Kemudian dalam rangka merintis konsensus yang dapat diterima secara internasional, CIPM merujuk ke International Organization for Standardization (ISO) untuk mengembangkan panduan yang lebih terperinci dengan melibatkan beberapa organisasi internasional lainnya [4]. Kini ketidakpastian pengukuran telah masuk dalam klausul persyaratan teknis dalam dokumen SNI ISO/IEC 17025:2008 tentang Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan laboratorium Kalibrasi [5] yang merupakan adopsi identik dari ISO/IEC 17025:2005 tentang “General requirements for the competence of testing and calibration laboratories” dan ISO/IEC 17025:2005/Cor.1:2006 [6].

Keniscayaan adanya konsep ketidakpastian pengukuran yang telah diakui secara luas tersebut ternyata belum diimplementasikan sepenuhnya secara legal oleh regulator ketenaganukliran dengan belum dijumpainya peraturan atau petunjuk yang secara eksplisit mengatur ketentuan terkait hal itu, terutama peraturan terkait batas dosis radiasi maupun tingkat aktivitas zat radioaktif. Masalah berupa keraguan, ketidaksepakatan, atau pertengkaran akan dapat timbul antara pihak yang mengatur dan pihak yang diatur apabila suatu laporan hasil pengukuran nilainya berada di sekitar atau mendekati nilai batas yang tertuang dalam suatu regulasi. Misal, dari hasil pemantauan suatu alat monitor dosis yang tipikal ketidakpastiannya sekitar 10% ditemukan seorang pekerja radiasi dengan penerimaan paparan sebesar  $(50.5 \pm 5.0)$  mSv/tahun. Tanpa ada ketentuan yang tegas dalam suatu regulasi maka akan dapat timbul keraguan atau perbedaan tafsir apakah paparan pekerja radiasi tersebut sudah benar-benar melampaui dosis tahunan yang diijinkan atau belum.

Sebagai bagian dari studi awal, makalah ini akan mengulas hakekat ketidakpastian hasil pengukuran dan menganalisis lebih dalam implementasinya di bidang ketenaganukliran dengan melihat regulasi yang selama ini diberlakukan, khususnya di bidang keselamatan nuklir dan keselamatan radiasi, dan membandingkan dengan yang diterapkan di bidang non ketenaganukliran.

## II. BAHAN DAN METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian studi literatur ini berupa dokumen peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang ada di Indonesia beserta rujukannya, terutama rujukan yang berupa rekomendasi dari organisasi internasional, seperti IAEA, EC dan ISO, yang beberapa di antaranya ada

dalam Daftar Pustaka. Sebagai bahan pendukung analisis, disajikan pula bahasan tentang hakekat atau konsep ketidakpastian serta metode penentuannya berdasarkan konsensus internasional. Selain itu, sebagai bahan perbandingan, dipelajari pula usaha-usaha yang telah dilakukan oleh organisasi atau komunitas non-ketenaganukliran dalam rangka menerapkan dan mengatasi permasalahan terkait dengan ketidakpastian pengukuran, dan kemungkinan penerapannya di bidang ketenaganukliran.

## III. HASIL STUDI LITERATUR

### (i). Konsep Ketidakpastian Pengukuran

Menurut JCGM 200:2008:VIM 2.26 (3.9) [2] atau ISO [4], ketidakpastian pengukuran didefinisikan sebagai parameter non-negatif yang mencirikan dispersi harga-harga besaran yang terkait dengan suatu besaran ukur, berdasarkan informasi yang digunakan. Definisi dalam bahasa aslinya adalah “*measurement uncertainty: non-negative parameter characterizing the dispersion of the quantity values being attributed to a measurand, based on the information used*”. Setiap pengukuran menggunakan suatu alat ukur, tidak mungkin diperoleh harga yang pasti benar, selalu mempunyai kesalahan (*error*) dan oleh karena itu hasil pengukuran atau perhitungan dari hasil pengukuran harus ditampilkan dalam bentuk rentang harga (bukan harga tunggal). Rentang harga tersebut adalah ketidakpastian suatu pengukuran. Bila suatu hasil pengukuran dinyatakan dalam format  $Y = y \pm U$ , maka  $U$  adalah angka di belakang  $\pm$  pada laporan hasil pengukuran itu yang dapat dinyatakan dalam bentuk bilangan atau dalam bentuk prosentase.

Sebagai ilustrasi, misal suatu hasil pengukuran dosis radiasi di suatu titik dilaporkan sebesar  $(50.5 \pm 2.2)$  mSv. Ini bermakna bahwa taksiran (*estimation*) terbaik dosis radiasi di titik tersebut adalah dalam rentang antara  $(50.5 - 2.2)$  mSv dan  $(50.5 + 2.2)$  mSv yang berarti harga besaran ukur terdispersi antara 48.3 mSv dan 52.7 mSv. Harga yang sebenarnya tentu saja tidak diketahui dengan pasti karena hasil pengukuran hanya menunjukkan taksiran terbaik di kisaran 48.3 mSv dan 52.7 mSv. Harga besaran ukur sebenarnya diduga berada di dalam rentang nilai tersebut. Contoh lain, pengukuran aktivitas suatu sumber radiasi yang dilakukan dengan pengulangan 10 kali dengan kondisi peralatan dan lingkungan yang sama diperoleh hasil penunjukan dalam alat ukur berturut-turut 126; 117; 104; 139; 123; 145; 119; 128; 113; dan 135. Sebaran data hasil pengukuran ini disebabkan adanya banyak faktor, di antaranya adalah karena sifat acak peluruhan zat radioaktif. Dari data ini tidak ada yang tahu presis, berapa harga sebenarnya aktivitas sumber radiasi tersebut. Yang dapat dilakukan adalah menduga bahwa harga aktivitas sebenarnya berada di dalam suatu rentang harga di sekitar harga rata-rata. sementara hasil pengukuran yang tepat benar tidak mungkin didapatkan. Untuk mengetahui seberapa yakin bahwa harga besaran ukur sebenarnya terdispersi di dalam rentang harga tersebut maka digunakan formula  $U = k \sigma$ , dengan  $\sigma$  adalah ketidakpastian gabungan dan  $k$  suatu faktor yang menunjukkan

tingkat kepercayaan (*confidence level*) yang besarnya dapat dipilih sesuai dengan tingkat kepercayaan yang diharapkan, sebagai contoh, pemilihan  $k=1$ ,  $k=2$ ,  $k=3$  berturut-turut akan memberikan tingkat kepercayaan sekitar 68,2%, 95,4% dan 99,7%. Dengan memilih tingkat kepercayaan yang semakin besar, misal  $k = 3$  atau  $3\sigma$  (lazim dibaca tiga sigma) maka kemungkinan harga besaran ukur yang sebenarnya berada di dalam rentang dugaan akan semakin besar, 99,7%, tetapi harga rentang ketidakpastiannya juga semakin lebar. Pada umumnya ketidakpastian pengukuran bersumber dari beberapa komponen yang masing-masing memberikan kontribusi terhadap dispersi hasil pengukuran tersebut. Bila menginginkan rentang ketidakpastian yang kecil tapi dengan tingkat kepercayaan yang tetap tinggi maka perlu memperkecil sumber utama ketidakpastiannya, misal memperkecil ketidakpastian kalibrasinya, atau memperkecil harga simpangan baku hasil pengukuran dengan memperbanyak pengulangan atau memperpanjang waktu pengukuran.

Ketidakpastian pengukuran mempunyai sejumlah karakteristik antara lain:

- Mencerminkan tidak diketahuinya secara pasti harga sebenarnya dari besaran ukur, karena keterbatasan kemampuan iptek saat ini,
- Selalu melekat (*inherent*) dengan hasil pengukuran, terjadi di semua pengukuran; dapat dikurangi tapi tidak dapat dieliminasi,,
- Jika dievaluasi dengan tepat dapat menjadi indikator tingkat mutu pengukuran dan tingkat kompetensi pihak yang melakukan pengukuran.

## (ii). Metode Penentuan Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran dapat bersumber dari banyak komponen, antara lain dari dan yang berkaitan dengan pengukuran, semua langkah analisis mulai dari preparasi sampel, faktor kesalahan alat, kesalahan personil, kesalahan metode, dan kesalahan pengukurannya sendiri. Sumber ketidakpastian lainnya adalah ketidaklengkapan definisi besaran ukur, ketidaksempurnaan realisasi definisi, ketidaksempurnaan model matematik, metode pengambilan sampel, ketidakpastian harga standar pengukuran dan bahan acuan, ketidakpastian konstanta atau parameter yang diperoleh dari sumber sumber lain, faktor-faktor lingkungan, keragaman acak dalam pengamatan berulang, resolusi alat, dan lai lain [2].

Berdasarkan metode evaluasinya, ada dua kategori ketidakpastian, yaitu tipe A dan tipe B. Ketidakpastian tipe A adalah ketidakpastian yang metode evaluasinya menggunakan analisis statistik dari serangkaian pengamatan (menghasilkan harga rata-rata dan simpangan baku dari harga rata-rata atau simpangan baku dari pengukuran tunggal), sedangkan ketidakpastian tipe B adalah ketidakpastian yang metode evaluasinya menggunakan selain analisis statistik, (sebagai contoh, evaluasi berbasis data spesifikasi alat, sertifikat kalibrasi, dan pengalaman). Setelah dilakukan estimasi masing-masing komponen, dengan formula yang sudah dibakukan, kemudian dilakukan penggabungan kedua katogeri ketidakpastian

tersebut menjadi ketidakpastian gabungan. Hasil akhir ketidakpastian adalah dalam bentuk ketidakpastian diperluas yang merupakan perkalian antara ketidakpastian gabungan dengan faktor  $k$  yaitu faktor yang diambil untuk memberikan tingkat kepercayaan tertentu.

Di bidang keselamatan radiasi, komponen ketidakpastian tipe A yang dominan bersumber dari karakteristik peluruhan zat radioaktif yang bersifat acak sedangkan komponen ketidakpastian tipe B yang dominan bersumber dari nilai ketidakpastian pada sertifikat kalibrasi, karakteristik alat ukur dan kondisi lingkungan.

## (iii). Ketidakpastian Pengukuran Dalam Regulasi

Dalam suatu regulasi, ketidakpastian pengukuran dianggap parameter yang sangat penting atas dua hal, pertama menyangkut masalah apakah suatu hasil pengukuran merupakan bukti ketidakpatuhan terhadap ambang batas, terutama bila ambang batas tersebut berada dalam rentang ketidakpastian, dan kedua adalah penggunaan informasi ketidakpastian untuk penetapan ambang batas. Penentuan kepatuhan/ketidakpatuhan suatu sampel besaran ukur dengan menggunakan ketidakpastian pengukuran sebagai bahan pertimbangan diilustrasikan pada Gambar 1. Dari keterangan Gambar 1 terbaca bahwa konsep ketidakpastian pengukuran yang sudah dipahami secara mendalam yang diterapkan di laboratoria dapat menyelesaikan masalah keraguan dalam pengambilan keputusan.

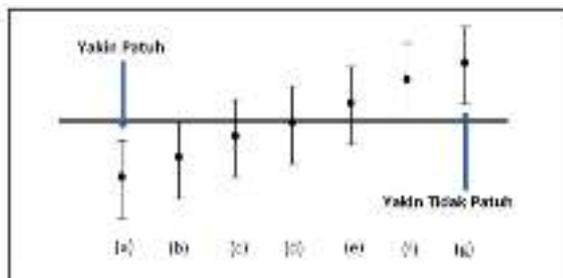


**Gambar 1.** Contoh penilaian kepatuhan dan ketidakpatuhan dengan dan tanpa menggunakan informasi ketidakpastian. Tanpa adanya informasi ketidakpastian (sebelah kiri), Cuplikan 1 dan Cuplikan 2 keduanya dianggap tidak mematuhi aturan. Dengan adanya informasi ketidakpastian Cuplikan 1 dapat dinilai masih berada pada batas kepatuhan sepanjang regulator menetapkan kriteria harga ketidakpastiannya (misal, dalam hal ini 10%). Gambar dikutip dari makalah Huimin Deng dkk., [7].

Pada umumnya ditetapkannya suatu regulasi di bidang ketenaganukliran bertujuan untuk mengurangi risiko bahaya yang ditimbulkan oleh radiasi pengion baik terhadap kesehatan maupun terhadap lingkungan melalui, antara lain, pembatasan dosis radiasi yang diterima pekerja dan masyarakat umum maupun pembatasan aktivitas zat radioaktif yang terlepas ke lingkungan. Pengukuran dosis radiasi

dan aktivitas zat radioaktif dilakukan untuk mengetahui apakah suatu kondisi sudah sesuai dengan regulasi yang ditetapkan. Di sinilah muncul adanya potensi permasalahan terkait kesesuaian antara regulasi dan hasil pengukuran akibat adanya ketidakpastian pengukuran. Permasalahan yang muncul dapat berupa perbedaan interpretasi, keraguan (*ambiguity*), bahkan dapat melebar ke masalah kredibilitas dan komunikasi. Ilustrasi pada Gambar 2 dapat menunjukkan potensi masalah tersebut. Untuk kasus hasil pengukuran **(a)** tidak menimbulkan keraguan bahwa nilai yang ditunjukkan masih belum melampaui batas yang diijinkan. Demikian pula untuk kasus **(g)** juga tidak menimbulkan keraguan bahwa hasil pengukuran telah melampaui batas yang diijinkan. Namun tidak demikian dengan kasus **(b)**, **(c)**, **(d)**, **(e)**, dan **(f)** yang berpotensi menimbulkan keraguan apakah suatu hasil pengukuran belum atau sudah melampaui batas yang diijinkan oleh suatu regulasi, walaupun masing-masing kasus memberikan tingkat keraguan yang berbeda. Untuk mensikapi kasus-kasus hasil pengukuran sebagaimana pada Gambar 2 masih perlu dirumuskan pedoman baku bagi para regulator dan pemangku kepentingan di bidang ketenaganukliran.

Untuk mengetahui sejauh mana ketidakpastian pengukuran diterapkan dalam regulasi ketenaganukliran, berikut akan dibahas beberapa rekomendasi dan aturan yang dipublikasikan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA), Pemerintah Indonesia, Bapeten dan contoh kebijakan yang pernah dikeluarkan Nuclear Regulatory Commission (NRC) – USA di masa lalu, untuk dibandingkan dengan direktif di bidang non-tenaganukliran terkait dengan penggunaan informasi ketidakpastian dalam penilaian kesesuaian yang dipublikasikan oleh Eurachem/Co-operation on International Traceability in Analytical Chemistry (CITAC).

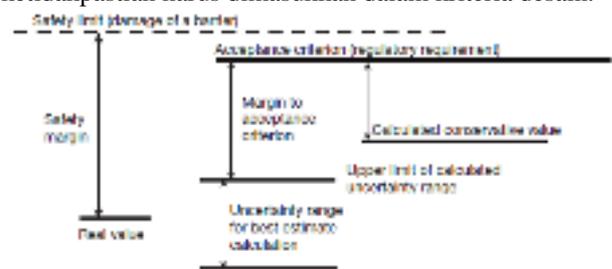


**Gambar 2.** Ilustrasi potensi timbulnya keraguan dalam penentuan kepatuhan dan ketidakpatuhan terhadap suatu batas atas yang telah ditetapkan di dalam peraturan perundang-undangan ketenaganukliran.

#### INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY

Di bidang keselamatan nuklir, paling tidak, ketidakpastian pengukuran telah dikaitkan dengan konsep margin keselamatan (*safety margin*) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3 yang

dikutip dari dokumen standar keselamatan Safety Reports Series No. 52 [8]. Ilustrasi pada Gambar 3 sebenarnya suatu konsep terkait dengan penentuan kriteria disain suatu PLTN yang mensyaratkan kondisi sejumlah parameter keselamatan yang harus memenuhi *safety margin* yang ditetapkan oleh regulator. Pengertian *safety margin* di sini adalah perbedaan (dalam bentuk satuan besaran fisika) antara harga kritis suatu parameter yang terkait dengan kegagalan sistem atau komponen dengan harga aktual parameter tersebut. Pada Gambar 3, harga kritis parameter digambarkan sebagai ambang batas keselamatan (*safety limit*). *Safety margin* juga dapat diartikan sebagai perbedaan antara ambang batas yang dijadikan kriteria penerimaan (oleh suatu regulator) dengan hasil perhitungan yang diperoleh baik melalui metode taksiran terbaik (*best estimation*) maupun melalui metode perhitungan konservatif. Yang dimaksudkan dengan perhitungan konservatif adalah hasil analisis yang mengarah kepada hasil pesimistik, relatif terhadap suatu kriteria penerimaan yang ditentukan. Jadi ada dua cara untuk menentukan *safety margin*, yaitu mengarah secara langsung terhadap ambang batas keselamatan (*safety limit*), yaitu ketika ambang kerusakan terlampaui, atau berbasis kriteria keselamatan yang ditetapkan oleh regulator. Kondisi suatu instalasi nuklir harus dijaga agar harga riilnya selalu berada jauh di bawah ambang batas keselamatan. Dalam hal penentuan *safety margin* berdasarkan perbedaannya dengan metode taksiran terbaik, maka rentang ketidakpastian dari suatu hasil perhitungan taksiran terbaik tersebut menjadi parameter yang mempengaruhi harga *safety margin*. Terlihat di sini bahwa rentang ketidakpastian harga suatu parameter berpengaruh terhadap harga *safety margin*. Jadi untuk mengendalikan harga *safety margin* harga rentang ketidakpastian harus dimasukkan dalam kriteria desain.



**Gambar 3.** Bagan konsep margin keselamatan (*safety margin*). Tampak bahwa ketidakpastian pengukuran telah diperhitungkan dalam penentuan margin keselamatan yang mengacu ke kriteria penerimaan oleh suatu Badan Pengawas.

Sisi atas bagan sebelah kiri dan sebelah kanan pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa harga kriteria penerimaan yang dibuat oleh Badan Pengatur selalu berada di bawah ambang batas keselamatan sehingga pelanggaran terhadap peraturan belum akan mengakibatkan ketidakpatuhan terhadap ambang batas keselamatan. Terlihat pula pada bagan sebelah kanan, bahwa margin terhadap kriteria penerimaan lebih lebar untuk batas atas yang dihitung berbasis rentang

ketidakpastian ketimbang yang dihitung berbasis harga konservatif.

Di bidang keselamatan radiasi konsep *safety margin*, walaupun tidak tersurat, penerapannya tercermin dalam ketentuan pembatasan dosis radiasi bagi pekerja radiasi yaitu pada batasan dosis 20 mSv per tahun bagi pekerja radiasi diberikan semacam “kelonggaran” sampai 50 mSv per tahun meskipun dengan ketentuan bahwa sampai dengan lima tahun berikutnya total dosis yang diterima pekerja tidak boleh melebihi 100 mSv [1]. Bila ketentuan ini dianalogikan dengan konsep pada Gambar 3, meskipun analogi ini tidak tepat benar, maka nilai 20 mSv/tahun dapat dimaknai sebagai kriteria desain dan 50 mSv sebagai kriteria penerimaan Badan Pengatur. Bila diasumsikan tipikal suatu alat ukur dosis radiasi mengandung ketidakpastian pengukuran sekitar 20% maka rentang ketidakpastiannya akan berada di antara 16 mSv dan 24 mSv dengan batas atas 24 mSv sehingga ada margin keselamatan terhadap kriteria penerimaan sebesar (50 – 26) mSv atau 26 mSv. Barangkali juga, meskipun tidak tepat benar, 100 mSv dapat ditetapkan sebagai batas keselamatan karena berdasarkan pengetahuan terbaik dan pengalaman empiris sampai saat ini dosis radiasi efek deterministik berada di atas 100 mSv. Bagaimanapun juga, ketidakpastian pengukuran masih tetap berpotensi menimbulkan keraguan apabila seorang pekerja radiasi dalam kurun waktu lima tahun menerima dosis total di sekitar 100 mSv.

#### PEMERINTAH INDONESIA DAN BAPETEN

Sejumlah Peraturan Pemerintah dan Peraturan Kepala Bapeten di bidang ketenaganukliran [9,10, 11] terutama peraturan terkait dengan keselamatan radiasi secara eksplisit belum memasukkan parameter ketidakpastian pengukuran sebagai kriteria penilaian kesesuaian atau penilaian kepatuhan/ketidakpatuhan terhadap aturan terkait batasan dosis pekerja radiasi dan aktivitas zat radioaktif. Hal ini masih dapat di mengerti karena sumber utama rujukan Peraturan Pemerintah di bidang ketenaganukliran dan Peraturan Kepala Bapeten berasal dari dokumen-dokumen standar keselamatan yang diterbitkan IAEA [1]. Di sejumlah dokumen standar keselamatan IAEA maupun di sejumlah dokumen level di bawahnya juga belum dijumpai rekomendasi penggunaan parameter ketidakpastian pengukuran dalam penilaian kesesuaian untuk batasan dosis radiasi dan aktivitas zat radioaktif. Demikian pula di dalam rekomendasi Komisi Internasional di Bidang Proteksi Radiasi (ICRP) [12] juga tidak ditemukan ketentuan terkait ketidakpastian pengukuran sebagai kriteria penilaian kesesuaian. Seandainya ditemukan kasus seperti pada Gambar 2, belum ada pedoman untuk membuat keputusan dengan keyakinan tinggi apakah **(b)**, **(c)**, **(d)**, **(e)**, **(f)** dapat dinilai patuh dan tidak patuh.

#### NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC) – USA

Ketidakpastian pengukuran sudah pernah dipermasalahkan di NRC pada tahun 1990-an. Di dalam

suatu kompilasi arsip Health Physics Positions Database on 10 CFR Part 20 [13] terdapat memo internal berjudul “*Consideration of Measurement Uncertainty When Measuring Radiation Levels Approaching Regulatory Limits*” tertanggal August 3, 1990 yang isinya menegaskan sikap NRC bahwa terhadap hasil pengukuran yang sah yang diperoleh dengan metode yang mendemonstrasikan kepatuhan atau ketidakpatuhan yang masuk akal harus diterima dan bahwa ketidakpastian yang melekat pada harga yang terukur tidak perlu dipertimbangkan dalam menentukan kepatuhan atau ketidakpatuhan terhadap batas peraturan. Jadi, hanya nilai terukur (dan bukan jumlah nilai terukur dan ketidakpastiannya) perlu kurang dari nilai batas untuk menunjukkan kepatuhan terhadap batas peraturan. Sebaliknya, hanya nilai terukur (dan bukan nilai terukur dikurangi ketidakpastiannya) perlu lebih besar dari harga batas untuk menunjukkan ketidakpatuhan terhadap batas dalam peraturan. Sikap NRC ini dilandasi dengan pemahaman bahwa sebagaimana lazimnya suatu peraturan, suatu batas dosis harus dinyatakan dengan harga yang nyata dan jelas. Metode untuk menunjukkan kepatuhan terhadap batasan ini diserahkan kepada pihak yang diatur. Metode apapun yang dapat mendemonstrasikan kepatuhan dengan masuk akal akan diterima. Pernyataan ini untuk menyanggah pernyataan yang oleh NRC dinyatakan salah yang dikirim oleh salah satu perwakilan NRC ke pihak pemegang ijin yaitu bahwa pemegang ijin harus mempertimbangkan ketidakpastian yang melekat saat mengukur tingkat radiasi yang mendekati batas regulasi dan harus menetapkan batas prosedural yang kurang dari batas peraturan dengan jumlah yang sama dengan (atau melebihi) “kesalahan instrumen”.

Jadi jelas bahwa NRC (minimal pada saat tahun 1990 an) sama sekali tidak mempertimbangkan adanya ketidakpastian pengukuran dalam melakukan penilaian kepatuhan dan ketidakpatuhan atas hasil pengukuran yang sah. Kasus **(a)**, **(b)**, dan **(c)** pada Gambar 2 dinilai patuh dan kasus **(e)**, **(f)**, dan **(g)** dinilai tidak patuh.

#### EURACHEM/CITAC

Di bidang kimia analitik, Eurachem/CITAC telah menerbitkan pedoman untuk penilaian kesesuaian suatu hasil pengukuran terhadap suatu ambang batas dalam regulasi atau spesifikasi suatu produk dengan menggunakan informasi hasil pengukuran beserta ketidakpastian pengukurannya [14]. Panduan ini dibuat dengan asumsi bahwa ketidakpastian pengukuran telah dievaluasi dengan metode yang tepat sesuai dengan panduan ISO [4] dengan memperhitungkan semua kontribusi yang relevan, termasuk kontribusi dari ketidakpastian saat pengambilan cuplikan.

Menurut panduan ini, hasil pengukuran seperti pada Gambar 2 sebenarnya mempunyai kebolehjadian yang tinggi bahwa harga besaran ukur untuk kasus **(c)** ada di bawah ambang batas dan untuk kasus **(e)** di atas ambang batas, namun ambang batas itu tumpang tindih dengan rentang ketidakpastian pengukurannya. Namun untuk membenarkan keputusan kesesuaian/kepatuhan

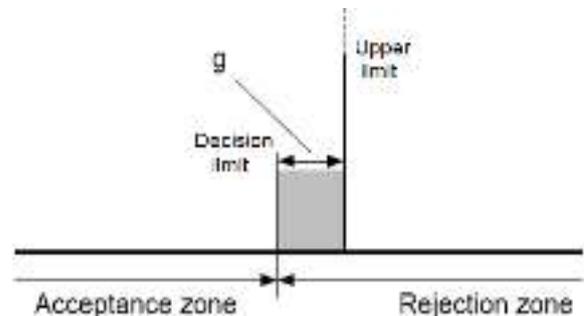
untuk kasus **(c)** dan ketidaksesuaian/ketidakpatuhan untuk kasus **(e)** masih dipengaruhi oleh pilihan risiko salah dalam mengambil keputusan. Salah keputusan ini kebolehjadiannya mungkin cukup kecil, tetapi mungkin tidak cukup kecil. Karena itu kasus **(c)** dan **(e)** harus dinilai berdasarkan hasil pengukuran ketidakpastian dan kriteria batasan (*limit*) atau batasan spesifikasinya dengan mempertimbangkan tingkat yang dapat diterima dari kemungkinan salah dalam mengambil keputusan.

Kunci dari pedoman Eurachem/CITAC adalah diperkenalkan konsep aturan keputusan (*decision rules*) sebagai dasar dalam melakukan penilaian kesesuaian atau kepatuhan. Suatu *decision rule* dibuat dengan memperhitungkan risiko jika terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan. Berdasarkan *decision rule* ini ditentukanlah suatu zona penerimaan (*acceptance zone*) dan zona penolakan (*rejection zone*) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4a, 4b dan 4c. Jika hasil pengukuran berada di zona penerimaan maka suatu produk dapat dinyatakan sesuai dengan spesifikasi. Jika hasil pengukuran berada di zona penolakan maka produk itu dapat dinilai tidak sesuai dengan spesifikasi. Konsep ini dilengkapi dengan adanya batas keputusan (*decision limit*) dan batas atas (*upper limit*) yang keduanya dipisahkan oleh suatu pita penjaga (*guard band*). *Decision limit* adalah perpotongan antara zona penerimaan dan zone penolakan. Batas atas dapat berupa harga ambang batas yang ditetapkan dalam regulasi resmi (misal, harga maksimum yang diijinkan) atau berupa spesifikasi suatu produk. Batas keputusan diperoleh dengan menghitung lebar pita penjaga, **g** yang harganya dipilih untuk memenuhi persyaratan *decision rule* dan berbanding lurus dengan harga ketidakpastian pengukurannya, misal, jika *decision rule* menyatakan bahwa untuk suatu ketidakpatuhan harga besaran ukur harus lebih besar dari batas atas plus **2u** (dengan **u** adalah ketidakpastian standar) maka  $g = 2u$ .

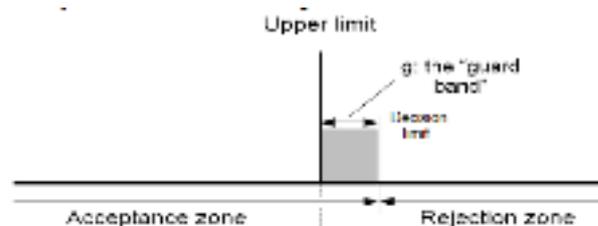
Ada beberapa opsi dari pedoman ini berdasarkan pilihan risiko salah dalam mengambil keputusan, antara lain:

- Kasus pada Gambar 4a adalah contoh pedoman yang mengandung persyaratan berbatas atas, yang menitikberatkan keyakinan yang tinggi untuk penerimaan dengan benar atau dengan kata lain penghindaran salah dalam penerimaan. Contoh penerapannya misal, untuk menghindari kesalahan dalam mengambil keputusan terhadap peraturan konsentrasi maksimum kandungan logam berat di dalam tanah.
- Kasus pada Gambar 4b adalah contoh pedoman yang mengandung persyaratan berbatas atas, yang menitikberatkan keyakinan yang tinggi untuk penolakan dengan benar atau dengan kata lain penghindaran salah penolakan. Contoh penerapannya misal, untuk menghindari kesalahan dalam mengambil keputusan terhadap pengemudi mobil yang kandungan alkohol dalam darahnya berada di sekitar batas atas, sehingga terhindar dari menghukum orang yang tidak bersalah.

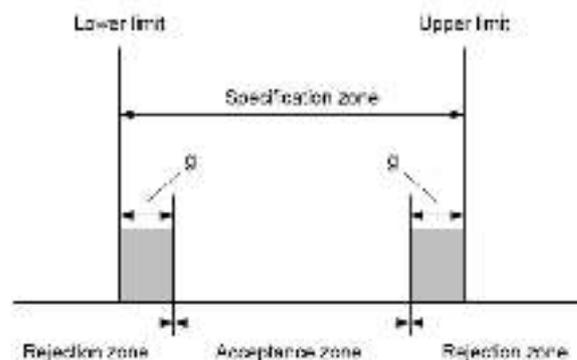
- Kasus pada Gambar 4c adalah contoh pedoman yang mengandung persyaratan berbatas bawah dan berbatas atas sehingga zona penerimaan berada di antaranya. Contoh penerapannya misal, pabrik baja yang mempersyaratkan kandungan nikel untuk jenis baja tahan karat harus dalam rentang antara 16.0 -18.0 % w/w.



**Gambar 4a.** Posisi zona penerimaan dan zona penolakan untuk suatu aturan atau spesifikasi berbatas atas (*upper limit*) untuk mendapatkan keyakinan yang tinggi agar dapat memutuskan penerimaan dengan benar (*correct acceptance*).



**Gambar 4b.** Posisi zona penerimaan dan zona penolakan untuk suatu aturan atau spesifikasi berbatas atas (*upper limit*) untuk mendapatkan keyakinan yang tinggi agar dapat memutuskan penolakan dengan benar (*correct rejection*).



**Gambar 4c.** Pita garda, batas keputusan, sebuah zona penerimaan dan dua buah zona penolakan untuk suatu spesifikasi berbatas bawah dan berbatas atas untuk mendapatkan keyakinan yang tinggi agar dapat memutuskan penerimaan dengan benar (*correct acceptance*)

*Decision rule* yang paling sederhana adalah bahwa hasil yang sama dengan atau lebih besar dari batas atas (*upper limit*) menyiratkan ketidakpatuhan, sedangkan hasil yang lebih rendah dari batas atas

menyiratkan kepatuhan, asalkan harga ketidakpastiannya (yang diperluas) di bawah suatu harga tertentu. *Decision rule* model ini biasanya digunakan bila harga ketidakpastian relatif kecil ketimbang harga batas sehingga risiko membuat keputusan yang salah masih dapat diterima. Namun untuk menggunakan aturan ini tanpa menentukan harga maksimum ketidakpastian yang diijinkan berarti harga kebolehtindakan membuat keputusan salah tidak dapat diketahui.

*Decision rule* yang saat ini banyak digunakan adalah bahwa suatu hasil pengukuran termasuk tidak patuh jika harga hasil pengukuran dengan ketidakpastian yang diperluas melebihi batas atas. Dengan *decision rule* ini maka kasus **(a)**, **(b)**, **(c)**, **(e)**, **(f)** akan dinilai patuh, dan **(g)** pada Gambar 2 dinilai tidak patuh.

Untuk dapat melakukan pengambilan keputusan sesuai dengan pedoman ini maka selain *decision rule*, diperlukan data atau informasi terkait dengan spesifikasi obyek yang diukur, hasil analisis, ketidakpastian pengukuran beserta tingkat kepercayaan dan derajat kebebasannya (untuk ketidakpastian yang diperluas dan spesifikasi yang berbatas atas dan atau berbatas bawah). Lebar pita penjaga **g** dapat dihitung berdasarkan data ketidakpastian dan *decision rule* yang dipakai. Demikian pula batas keputusan dan zone penerimaan serta zona penolakan dapat ditentukan berdasarkan spesifikasi dan *decision rule*. Untuk lebih memperjelas penerapannya, di dalam pedoman Eurachem/CITAC ini dilengkapi dengan beberapa contoh kasus dengan variasi kondisi hasil pengukuran ketidakpastian (Apendiks A) dan contoh penerapan (Apendiks B)[14].

#### IV. PEMBAHASAN

Dari hasil studi terhadap dokumen IAEA Safety Series No.52 [8] dapat diketahui bahwa ada dua cara untuk menentukan *safety margin*, yaitu mengarah secara langsung terhadap ambang batas keselamatan (*safety limit*) dan berbasis kriteria keselamatan yang ditetapkan oleh regulator. Konsep yang banyak dianut oleh negara anggota IAEA saat ini adalah konsep *safety margin* yang parameternya dihitung berdasarkan taksiran terbaik disertai dengan perhitungan rentang ketidakpastiannya dan mengacu ke kriteria penerimaan yang dikeluarkan oleh suatu badan regulator (bagan bagian tengah pada Gambar 3). Jadi walaupun ketidakpastian pengukuran tidak ada dalam kriteria penilaian, namun sudah masuk dalam perhitungan *safety margin*. Bila konsep ini dianalogikan dengan konsep yang direkomendasikan oleh Eurochem/ATAC di bidang kimia analitik, maka, konsep yang diterapkan di bidang keselamatan nuklir cenderung bersesuaian dengan konsep berkeyakinan tinggi untuk menerima dengan benar (Gambar 4a) ketimbang berkeyakinan tinggi untuk menolak dengan benar (Gambar 4b). Artinya, dalam penerapan peraturan, badan regulator cenderung memilih berkeyakinan tinggi demi keselamatan ketimbang menghukum pihak yang tidak bersalah atau menolak suatu spesifikasi yang memenuhi kriteria. Dengan kata lain, bila analogi ini

benar, maka aturan yang diterapkan di bidang keselamatan radiasi mengandung kehati-hatian yang tinggi tetapi masih berpeluang menghukum pihak yang tidak bersalah.

Hal yang berbeda terjadi di bidang non-ketenaganukliran, sebagai contoh, sejumlah Direktif EC generasi kedua seperti Petunjuk Insenerasi Limbah, Petunjuk Pembakaran Besar/Tanaman, Petunjuk Pelarut (*Solvents Directive*) dan Petunjuk Pencegahan dan Pengendalian Pencemaran [15] tidak hanya mengenakan batasan emisi pada polutan individu tetapi juga menentukan ketidakpastian pengukuran yang harus dicapai dengan sistem pemantauan otomatis dan dimasukkan dalam proses regulasi. Pendekatan ini menciptakan hubungan antara panduan dan berbagai standar pelengkap yang menjelaskan teknik pemantauan, metode kalibrasi dan pengukuran jaminan kualitas dan manajemen. Persyaratan ketidakpastian pengukuran dinyatakan secara jelas dalam direktif, antara lain untuk memenuhi persyaratan standar jaminan kualitas EN ISO/IEC 17025: 2005.

Dewasa ini peralatan untuk pengukuran radiasi telah semakin canggih, mengalami kemajuan signifikan seiring dengan perkembangan teknologi elektronik dan digital, namun harga ketidakpastian hasil pengukuran dosis radiasi yang dapat dicapai saat ini masih relatif besar, berkisar antara 5 % - 30%, sehingga memberikan rentang estimasi harga sebenarnya dari suatu hasil pengukuran yang relatif masih lebar. Dengan demikian bila dijumpai harga hasil pengukuran yang berada di sekitar dosis ambang, semestinya harga tersebut bukanlah satu-satunya parameter yang dijadikan acuan dalam menilai pelanggaran oleh pihak yang diatur karena harga yang sebenarnya dapat terbentang 5 -30% di bawah dan di atas harga hasil pengukuran itu.

Dari uraian di atas dapat dirangkum bahwa, walaupun hasil pengukuran besaran radiasi baik dalam besaran dosis radiasi maupun aktivitas sumber radioaktif mengandung unsur ketidakpastian pengukuran, namun belum ada regulasi di bidang ketenaganukliran yang secara eksplisit memasukkan parameter ketidakpastian pengukuran ke dalam persyaratan dalam penentuan kesesuaian antara hasil pengukuran dan batas regulasi. Dapat dikatakan bahwa regulasi di bidang ketenaganukliran yang ada belum sepenuhnya menjawab permasalahan terkait hasil pengukuran yang nilainya berada di sekitar batas peraturan.

#### V. KESIMPULAN DAN SARAN

Telah dilakukan studi literatur sebagai penelitian pendahuluan tentang implementasi ketidakpastian pengukuran terhadap peraturan perundang-undangan ketenaganukliran. Dari studi ini terungkap bahwa ada nuansa kesamaan dan perbedaan antara regulasi di bidang ketenaganukliran dan non ketenaganukliran terkait sejauh mana ketidakpastian pengukuran dituangkan dalam regulasi. Kedua regulasi menerapkan konsep margin terhadap suatu batas yang ditetapkan, walaupun ada perbedaan dalam metode penentuan margin. Nuansa perbedaan antara kedua regulasi adalah bahwa penilaian kesesuaian dalam

regulasi ketenaganukliran cenderung menitikberatkan aspek keselamatan dengan kepercayaan tinggi, sedangkan penilaian kesesuaian non-ketenaganukliran cenderung mempertimbangkan risiko jika terjadi kesalahan dalam pengambilan keputusan dalam rangka penghindaran sanksi bagi pihak yang tidak bersalah. Dapat disimpulkan bahwa regulasi di bidang ketenaganukliran yang ada belum sepenuhnya memperhitungkan ketidakpastian pengukuran sehingga belum sepenuhnya menjawab permasalahan terkait hasil pengukuran yang nilainya berada di sekitar batas peraturan. Ke depan perlu dilakukan pengembangan konsep yang lebih baik dalam rangka mengakomodasi permasalahan ketidakpastian pengukuran. Dapat disarankan bahwa penerapan peraturan terkait nilai batas di bidang ketenaganukliran perlu disertai dengan pemahaman yang baik tentang evaluasi ketidakpastian pengukuran. Walaupun regulasi terkait batasan dosis atau aktivitas tanpa disertai penjelasan yang tegas terkait dengan ketidakpastian suatu hasil pengukuran, sebaiknya penilaian suatu pelanggaran karena pelampauan ambang batas dosis harus ditinjau dari berbagai aspek teknis selain dari laporan hasil pengukuran.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pihak yang menyediakan fasilitas pencarian bahan rujukan untuk studi literatur ini melalui anggaran DIPA PSTA BATAN 2017.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA Safety Standards , Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, No. GSR Part 3 (2014)
- [2] BIPM, Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements (GUM), YCGM 100 – Paris (2008).
- [3] CIPM (1981), BIPM Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures 49, 8-9, 26 (in French); Giacomo, P. Metrologia 18, 43-44 (1982).
- [4] ISO/IEC Guide 98:1993, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Geneva, (1993) (corrected and reprinted 1995).
- [5] Badan Standardisasi Nasional, SNI ISO/IEC 17025: 2008, Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi (2008)
- [6] ISO/IEC 17025:2008, General Requirements for the Competence of Testing and Calibration laboratories (2008).
- [7] Huimin Deng, Zhonghao Li\*, Zhaoyang Bian, Fei Yang, Shanshan Liu, Ziyang Fan, Ying Wang, Gangling Tang, Influence of measurement uncertainty on the world health organization recommended regulation for mainstream cigarette smoke constituents, Regulatory Toxicology and Pharmacology 86 (2017).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Report Series No. 52; Best Estimate Safety Analysis for Nuclear Power Plants: Uncertainty Evaluation ,Vienna, 2008.
- [9] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif (2007).
- [10] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perijinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir (2014).
- [11] Peraturan Kepala Bapeten No. 7 tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan (2013)
- [12] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103 Elsevier (2007).
- [13] NRC, Health Physics Positions (HPPOS) Database, Consideration of Measurement Uncertainty When Measuring Radiation Levels Approaching Regulatory Limits dated August 3, 1990, HPPOS-223 PDR-9111220129 (NUREG/CR-5569, Rev. 1, 1994)
- [14] S.L.R. Elison, A. Williams (Editor), Eurachem/CITAC Guide, Use of uncertainty in compliance assessment (2007)
- [15] Official Journal of the European Union, Council Directive 2013/59, Brussels, 5 December 2013.
- [16] Noeggerath, J., Geller, R. J., & Gusiakov, V. K. (2011). Fukhusima: The Myth of Safety, the reality of Geoscince. Bulletin of the Atomic Scientists, 67: 37.
- [17] JAERI. (2005). MVP/GMVP II : General purpose monte carlo codes for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods, Tokyo: Japan Atomic Energy Research Institute.
- [18] Terry, W.K., Kim, S.S., Montierth, L.M., Cogliati, J.J., & Ougouag, A.M. (2006). Evaluation of the HTR-10 Reactor as a Benchmark for Physics Code QSA. Physor-2006 ANS Topical Meeting on Reactor Physics.



## PENGARUH SINAR-X/FOTON PADA RENTANG ENERGI (12,7- 661,6) keV TERHADAP RESPON TLD BARC (CaSO<sub>4</sub>:Dy) DAN ALGORITMA UNTUK EVALUASI RESPON TLD

Nazaroh, Rofiq Syaifudin, C. Tuti Budiantari

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi

nazaroh\_s@batan.go.id

### ABSTRAK

TLD (Thermo Luminescence Dosimeter) telah diakui oleh IAEA (International Atomic Energy Agency) dan WHO (World Health Organization) sebagai dosimeter skala internasional. TLD BARC (CaSO<sub>4</sub>:Dy) adalah salah satu jenis TLD komersial yang dapat digunakan untuk merekam dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi. Sebelum digunakan untuk pemantauan dosis, TLD BARC harus diketahui karakteristiknya, salah satunya dengan mempelajari kebergantungan TLD terhadap energy sinar-x dan foton. Makalah ini menyajikan pengaruh energy sinar-X dan foton terhadap respon TLD BARC dan penentuan responnya menggunakan 4 jenis algoritma, berdasarkan rentang energy radiasi yang datang pada TLD BARC. Pada kegiatan litbang ini diperoleh hubungan antara energi dan respon TLD. Respon TLD naik dengan naiknya energi sinar-X/foton. Pada E = 12,7 keV, respon TLD adalah:  $[0,00012X + 0,0598]$  mSv/reading  $\pm 7,1\%$ , pada E = 16,5 keV, respon TLD adalah :  $[0,0003x - 0,0264]$  mSv/reading  $\pm 6,3\%$  , pada E = 20 keV), respon TLD adalah:  $[0,0005X - 0,0615]$  mSv/reading  $\pm 6,3\%$  ,  $X = [(D2'+D3')/20]$ . Pada E = 59,5 keV, respon TLD adalah:  $[0,0008X + 0,0652]$  mSv/reading  $\pm 8,4\%$  ,  $[1,3 < X = D2'/D1' < 5]$ , Pada N(80), respon TLD adalah:  $[0,0009X + 0,4852]$  mSv/reading  $\pm 5,2\%$  . Pada N(100), respon TLD adalah:  $[0,0006X + 0,0652]$  mSv/reading  $\pm 9,6\%$  , dimana  $[1,3 < R = D2' / D1' < 5]$  and  $X = D1'(Ao+A1R12+A2R122+A3R123+A4R124, Ao = 2.6017, A1 = -15.8861, A2 = 45.54, A3 = -53, and A4 = 22.6.$  Pada E = 661,6 keV, respon TLD adalah:  $[0,001X + 0,0087]$  mSv/reading  $\pm 3,4\%$  , dimana  $X = [D1']$ . Nilai respon TLD ini dapat digunakan untuk mengevaluasi dosis pekerja radiasi yang bekerja di area X/ foton : (12,7- 661,6) keV.

**Kata kunci:** sinar-X/foton, respon, TLD, BARC, dosis.

### ABSTRACT

TLD (Thermo Luminescence Dosimeter) has been recognized by the IAEA (International Atomic Energy Agency) and WHO (World Health Organization) as an international-scale dosimeter. TLD BARC (CaSO<sub>4</sub>: Dy) is one of the commercial TLD types that can be used to record radiation doses received by radiation workers. Prior to being used for monitoring doses received by radiation workers, BARC TLDs must be known for their characteristics, one of them by studying the dependence of TLD on x-ray energy and photons. This paper presents the effect of X-ray energy and photons on BARC's TLD response and response determination using 4 types of algorithms, based on radiation energy ranges coming on BARC TLD. In this R & D activity obtained the relationship between energy and TLD response. TLD response rises with the rise of X-ray / photon energy. At E = 12.7 keV), the TLD response was:  $[0.00012x + 0.0598]$  mSv / reading  $\pm 7.1\%$ , at E = 16.5 keV, TLD response was :  $[0.0003x - 0.0264]$  MSv / reading  $\pm 6.3\%$ , at E = 20 keV), TLD response was:  $[0.0005x - 0.0615]$  mSv / reading  $\pm 6.3\%$ ,  $X = [(D2' + D3') / 20]$ . At E = 59.5 keV, the TLD response was:  $[0.0008x + 0.0652]$  mSv / reading  $\pm 8.4\%$ ,  $[1,3 < X = D2' / D1' < 5]$  and %, at N(80), the TLD response was :  $[0.0009X + 0.4852]$  mSv / reading  $\pm 5.2\%$ , and at X-ray energy N(100), the response was  $[0.0006X + 0.0652]$  mSv / reading  $\pm 9.6\%$  , whereas  $[1,3 < R = D2' / D1' < 5]$  and  $X = D1'(Ao+A1R12+A2R122+A3R123+A4R124, Ao = 2.6017, A1 = -15.8861, A2 = 45.54, A3 = -53, and A4 = 22.6.$  At 661 keV, TLD response was :  $[0.001x + 0.0087]$  mSv / reading  $\pm 3.4\%$ ,  $X = [D1']$ . This TLD response value can be used to evaluate the dose of radiation workers working in the photon area (12.7 - 661.6) keV.

**Keywords :** X-ray/photon, response, TLD, BARC, and dose

## I. PENDAHULUAN

Saat ini, radiasi elektromagnetik (sinar-X dan sinar gamma/foton) banyak dimanfaatkan pada berbagai bidang kegiatan, seperti di bidang radioterapi, radiodiagnostik di rumah sakit, laboratorium penelitian dan industri. Sinar-X memiliki panjang gelombang : (0,01 – 10) nm, sedangkan foton/sinar gamma memiliki panjang gelombang : (0,0001 – 0,1) nm [1].

Radiasi selain bermanfaat juga dapat membahayakan kesehatan manusia, terutama pada pekerja radiasi. Oleh karena itu pemanfaatan radiasi perlu pengawasan dan perlu pemantauan rutin terhadap para perkerja radiasi. Dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi harus pada dosis serendah mungkin agar tidak membahayakan (konsep ALARA). Pemantauan dosis perorangan pada pekerja radiasi

merupakan bagian integral dari program proteksi radiasi.

TLD (*Thermo Luminescence Dosimeter*) adalah salah satu jenis dosimeter radiasi, terbuat dari materi/bahan yang dapat menyimpan energy/dosis radiasi pengion yang diterimanya. Jika materi tersebut mendapat rangsangan berupa energi panas yang cukup, maka akan dipancarkan cahaya tampak dengan intensitas sebanding dengan energi yang diserap materi tersebut.

Materi TLD adalah materi yang memiliki efisiensi emisi dan sensitivitas yang tinggi, stabilitas pada rentang suhu kerja, memiliki resistensi tinggi terhadap variasi lingkungan dan linier terhadap dosis radiasi. Respon TLD bergantung pada: jumlah paparan (dosis), jenis radiasi (alfa, beta, gamma/sinar-X atau neutron), energi radiasi ( keV s/d MeV), arah datang radiasi, materi dan geometri TLD [ 6 ].

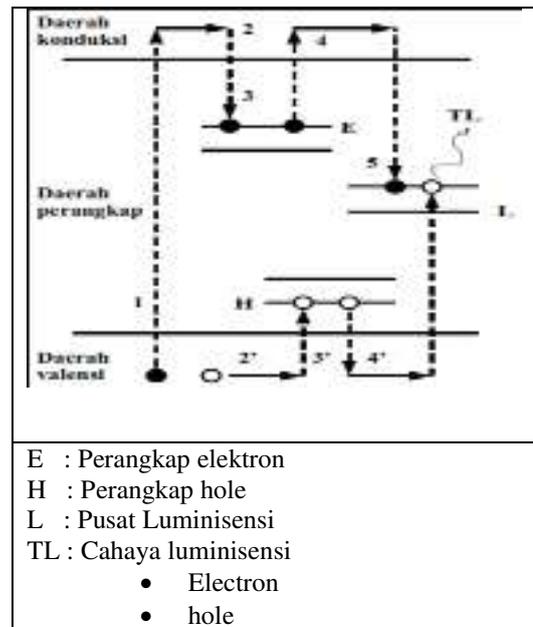
TLD telah diakui oleh IAEA (*International Atomic Energy Agency*) dan WHO (*World Health Organization*) sebagai dosimeter skala internasional, yang dapat digunakan untuk pemantauan dosis pekerja radiasi, yang bekerja pada radioterapi, radiodiagnostik atau proteksi radiasi [4]

Pada Pasal 4 Perka BAPETEN No.4/2013 [3], Pemegang Izin (PI) harus bertanggung jawab atas Proteksi dan Keselamatan Radiasi di fasilitasnya dengan cara menyediakan peralatan serta perlengkapan proteksi yang sesuai dengan sifat dan risiko untuk setiap pemanfaatan tenaga nuklir. Sebagai perwujudan tanggung jawab PI terhadap Proteksi dan Keselamatan Radiasi di fasilitasnya, salah satunya dengan menyediakan peralatan untuk pemantauan dosis radiasi perorangan menggunakan TLD. TLD harus dipakai pekerja selama melaksanakan pekerjaan dengan radiasi. TLD ini harus dievaluasi setiap 3 bulan di Laboratorium Uji Pengevaluasi Dosis yang telah terakreditasi, berdasarkan Pasal 34.

TLD BARC (*BHABHA ATOMIC RESEARCH CENTRE*), terbuat dari bahan  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ , merupakan salah satu jenis dosimeter komersial yang dapat digunakan untuk merekam dosis radiasi. Makalah ini akan membahas “Pengaruh sinar-X dan foton pada rentang energi (12,7 – 661) keV terhadap respon TLD BARC dan algoritma untuk mengevaluasi respon tersebut”

## II. TEORI

Bahan TLD adalah material yang memiliki model pita energi, terdiri atas : daerah valensi/ pita valensi, daerah perangkap/*trap* dan daerah konduksi/pita konduksi, Gambar 1. Ketika material TLD terkena radiasi pengion, akan dihasilkan pasangan elektron bebas dan *hole*. Mekanisme dihasilkannya elektron dan *hole* ini dapat terjadi melalui beberapa proses yaitu proses fotolistrik, hamburan Compton, produksi pasangan serta ionisasi langsung.



Gambar 1. Proses termoluminesensi pada TLD.

Elektron yang terlepas dari ikatan molekul karena mendapat energi dari radiasi pengion mengalami eksitasi dan memiliki energi yang cukup untuk melompat dari pita valensi ke pita konduksi (1). Pada daerah konduksi, elektron memiliki kemampuan untuk bergerak bebas, dan elektron dapat terperangkap di dalam pusat muatan positif atau perangkap elektron. Elektron bebas dihasilkan dari proses ionisasi maka jumlah elektron yang terperangkap sebanding dengan jumlah ionisasi yang terjadi atau sebanding jumlah total paparan radiasi yang mengenai materi. Ketika elektron terlepas dari ikatan molekul maka elektron akan meninggalkan sebuah *hole* dan dapat bergerak bebas di dalam pita valensi maka *hole* dapat terperangkap dalam pusat muatan negatif atau perangkap *hole*

Ada tiga macam perangkap di dalam bahan TLD, yaitu perangkap dangkal (meta stabil), perangkap stabil dan perangkap dalam. Perangkap meta-stabil adalah perangkap yang tidak terlalu kuat menangkap elektron maupun hole. Tangkapan ini akan lepas hanya dalam suhu ruang. Jika penggunaan dan pembacaan TLD cukup lama ( $\pm 3$  bulan), maka elektron maupun hole yang terperangkap di dalam perangkap meta - stabil akan terlepas sehingga bacaan TLD akan lebih rendah dibandingkan energi radiasi yang sebenarnya. Peristiwa ini dinamakan fading/ pemedaran.

Perangkap stabil adalah perangkap yang kuat menangkap elektron maupun hole sehingga elektron dan hole yang terperangkap dalam perangkap stabil akan dapat terlepas jika dilakukan pemanasan. Pemanasan ini dilakukan di dalam TLD Reader.

Perangkap dalam adalah perangkap yang menangkap elektron maupun hole dengan kuat, sehingga elektron maupun hole yang tertangkap oleh perangkap ini tidak akan terlepas hanya dengan pemanasan di dalam TLD Reader, perlu penyinaran dengan gelombang elektromagnetik misalnya sinar ultraviolet. Penyinaran bahan dengan menggunakan sinar ultraviolet ini dimaksudkan untuk memberikan

energi pada hole dan elektron yang terperangkap di dalam perangkap dalam untuk berpindah ke perangkap stabil. Elektron maupun hole ini akan terlepas ketika mendapat pemanasan kembali di dalam TLD Reader dan akan dihasilkan cahaya tampak. Proses pancaran cahaya tampak untuk pemanasan kedua kali ini dinamakan *phototransfer termoluminesensi* (PTTL). Elektron dan hole yang terlepas dari perangkap dalam selanjutnya akan melakukan penggabungan antara elektron dan hole. Penggabungan ini terjadi di pusat luminesensi (5). Proses penggabungan ini disertai dengan pemancaran cahaya tampak yang disebut cahaya luminesensi dan intensitasnya dapat diukur.

Pada Tabel 1. Disajikan karakteristik 4 macam TLD, yang lazim digunakan sebagai dosimeter perorangan [6].

**Tabel 1.** Karakteristik 4 macam TLD komersial untuk dosimeter perorangan [6].

Tipe TLD	Z <sub>eff</sub>	Puncak Utama (°C)	Emission Maks. (nm)	Sensitivitas Relatif	Fading Pada 25 °C
LiF:Ti;Mg	8,3	200	400	1	5%/year
LiF:Mg;CuP	8,3	210	400	25	5%/year
CaSO <sub>4</sub> :Dy	14,5	220	480-570	30	1%/2 bulan
CaSO <sub>4</sub> :Tm	14,5	220	452	30	1-2%/2 bln

**Algoritma untuk menentukan respon TLD BARC [7, Appendix O]**

Algoritma adalah metode efektif, untuk menghitung sebuah fungsi. Algoritma digunakan untuk penghitungan, pemrosesan data, dan penalaran otomatis.

Respon TLD bergantung pada jenis radiasi dan energi yang datang pada TLD. Ada empat jenis algoritma untuk menghitung nilai respon TLD BARC berdasarkan rentang energi yang datang pada TLD:

1. Jika radiasi yang mengenai TLD adalah gamma, E(γ) >200 keV.

Lakukan perhitungan :  $\frac{D_3'}{D_1'} < 1,3$ , jika ya, maka

responnya adalah :  $R(\gamma) = \frac{D_T}{D_1'}$  ... (1)

2. Jika radiasi yang mengenai TLD adalah beta, lakukan perhitungan

$$\frac{D_3'}{D_1'} > 1,3 \text{ dan } \frac{D_3'}{D_2'} > 1,3 \text{ dan } D_1' \text{ hampir}$$

sama dengan background, jika ya, responnya :  $R(\beta) = D_T/[BMF \times (D_3' - 1,3 D_1')]$ , atau  $R(\beta) = 0$ , jika  $< RV(2)$ .

BMF : Beta Modification Factor, bergantung pada energi beta. Untuk uranium alam, BMF = 1,6.

3. Jika radiasi yang mengenai TLD adalah beta dan gamma, lakukan perhitungan

$$\frac{D_3'}{D_1'} > 1,3 \text{ dan } \frac{D_2'}{D_1'} > 1,3, \frac{D_3'}{D_2'} > 1,2 \text{ dan } D_1'$$

>> BG, jika ya maka responnya adalah  $R(\beta) = D_T/[BMF \times (D_3' - 1,3 D_1')]$ , atau  $R = 0$ , jika  $< RV$  (3a)

dan  $R(\gamma) = \frac{D_T}{D_1'}$  ..... atau = 0, jika  $< RV$  ..... (3b)

4. Jika radiasi yang mengenai TLD adalah X dan gamma, lakukan perhitungan

a.  $\frac{D_2'}{D_1'} < 1,3 \rightarrow E(\gamma) > 200 \rightarrow$

$$R(\gamma) = \frac{D_T}{D_1'}$$
 ..... (4a)

b.  $1,3 < \frac{D_2'}{D_1'} < 5 \rightarrow E(\gamma) : (40-$

$$200)\text{keV} \rightarrow R(\gamma) = \frac{D_T}{R_c}$$
 -- (4b)

$$R_c = D_1' \times (A_0 + A_1 R_{12} + A_2 R_{12}^2 + A_3 R_{12}^3 + A_4 R_{12}^4)$$

$R_{12} = D_1'/D_2'$ ;  $A_0, A_1, A_2, A_3$  dan  $A_4$  adalah konstanta;

$A_0 = 2,6017$ ;  $A_1 = -15,88$ ;  $A_2 = 45,54$ ;  $A_3 = -53,28$  dan  $A_4 = 22,56$

c.  $\frac{D_2'}{D_1'} > 5$  dan  $\frac{D_3'}{D_1'} > 5$  dan  $(D_2' -$

$$D_1') = \pm 20\% \rightarrow E(X) < 40 \text{ kV}$$

$$R(X) = \frac{D_T}{(D_2' + D_3') / 20}$$
 ..... (4c)

Bacaan TLD yang diperoleh dari *TLD-Reader* adalah  $D_1, D_2$  dan  $D_3$ .

$D_1$  : Bacaan TLD di bawah filter Cu-Al;

$D_1'$  :  $D_1$  dikurangi control

$D_2$  : Bacaan TLD di bawah *Plastic window*;

$D_2'$  :  $D_2$  dikurangi control

$D_3$  : Bacaan TLD di bawah *open window*;

$D_3'$  :  $D_3$ -Control

$D_1'$ ;  $D_2'$ , dan  $D_3' = 0$ , jika  $< RV \rightarrow RV$  : Reporting Value,

$RV(\gamma) = 0,2 \text{ mSv}$ ,  $RV(\beta) = 0,5 \text{ mSv}$ ,  $RV(\text{soft X-ray}) = 0,05 \text{ mSv}$

Dengan menggunakan Algoritma di atas, maka kita dapat menghitung nilai respon TLD BARC. Pada litbang ini digunakan algoritma (1) untuk menghitung  $R(^{137}\text{Cs})$ , algoritma (4b) untuk menghitung  $R(^{241}\text{Am})$  dan (4c) untuk menghitung  $R(X)$ : 15, 20, dan 25 kV. Setelah diperoleh nilai respon, dibuat Kurva, hubungan antara dosis dan respon, serta respon TLD dengan energi.

### Perhitungan Ketidakpastian Respon TLD

Sudah menjadi ketentuan umum bahwa untuk perhitungan ketidakpastian pengukuran, meliputi ketidakpastian tipe A,  $u_A$  dan ketidakpastian tipe B,  $u_B$ , selanjutnya dihitung ketidakpastian kombinasi,  $u_c$ , dengan persamaan (5)

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \dots (5)$$

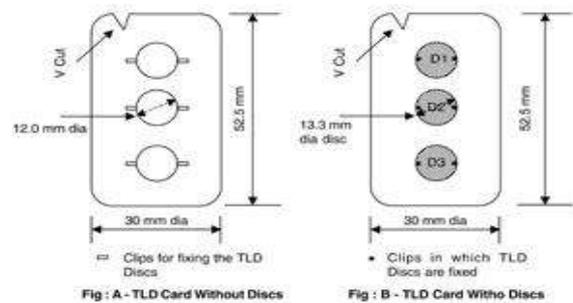
Ketidakpastian tipe A,  $u_A$  dihitung dengan metode statistic, sedangkan ketidakpastian tipe B,  $u_B$  dihitung dengan cara lain. Ketidakpastian bentangan,  $u_{\text{exp}} = k \cdot u_c$ , dimana  $k=2$ , untuk tingkat kepercayaan 95% . Dengan menggunakan referensi JCGM 100-2008, *Evaluation of measurement data, Guide to the expression of uncertainty in Measurement, 2008*, diperoleh nilai ketidakpastian bentangan untuk masing-masih respon TLD [8]

### III. TATA KERJA

#### Bahan dan Peralatan

- TLD : BARC (  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ ) (Gambar 2)

- Sumber radiasi : Pesawat Sinar X/YXLON-MG325,  $^{241}\text{Am}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  (Gambar 3)
- Sistem TLD-Reader dan gas nitrogen (Gambar 4)
- Phantom PMMA (Poly Methyl Metha Acrylate) berisi air. Dimensi : 30 cm x 30 cm x 15 cm, tebal dinding = 1 cm, *entrance window* = 2,5 cm (Gambar 4)
- Oven : untuk annealing



**Gambar 2.** TLD BARC:  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  (kiri) dan dimensi TLD BARC (kanan) [7]

TLD BARC terdiri dari kartu TLD dan kaset plastik (untuk memegang kartu TLD) (Gambar 2). TLD BARC ditempelkan pada pakaian seseorang dengan bantuan klip buaya.



**Gambar 3.** Sumber Radiasi ( $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{241}\text{Am}$  dan sinar-X) dan Phantom PMMA



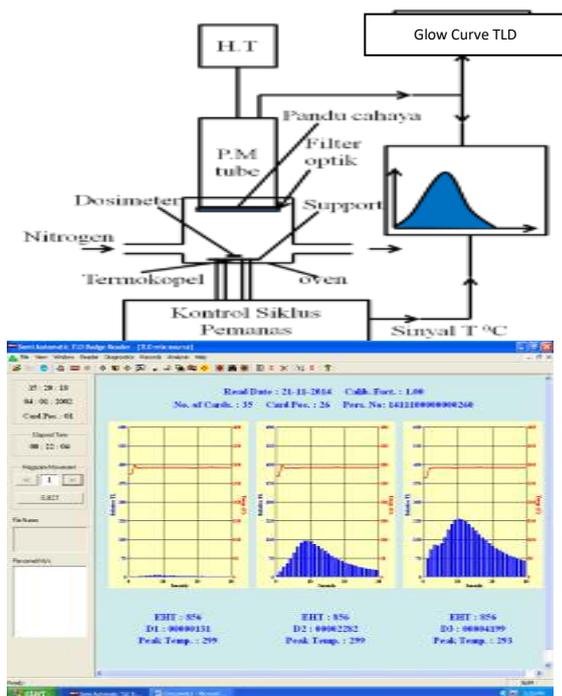
Gambar 4. TLD BARC-Reader (kiri), Gas nitrogen dan pompa gas (kanan).

### TLD-Reader BARC [7]

Ada 3 buah TLD-Reader BARC yang dapat digunakan untuk membaca TLD BARC, yaitu model BR-3A (manual) dan BR-7B (semi otomatis) dan yang otomatis. Di PTKMR, ada 2 jenis TLD Reader BARC, yaitu manual (BR-3A) dan semi otomatis (BR-7B).

Pada litbang ini digunakan TLD-Reader model BR-7B/ tipe 1010S, menggunakan *power supply* 220-230 V, 50 Hz. Metode pemanasannya menggunakan gas nitrogen.

Pengecekan rutin terhadap stabilitas TLD-Reader dapat dilakukan dengan pengamatan *Light Source* dari sumber  $^{63}\text{Ni}$  [9, 10]. Output recordernya : *TLD Glow Curve* dan profil temperatur. Dimensi dari TLD-Reader : 46 cm (L) x 39cm (H) x 25 cm (W) dan berat 14 kg.



Gambar 5. Bagan /skema TLD-Reader dan Glow-curve TLD.

Dilakukan pengamatan terhadap : suhu dan kelembaban ruangan TLD-Reader, pengamatan LS (*Light Source*) dan EHT (*Extra High Tension*) dari TLD-Reader [9, 10].

Seluruh TLD yang digunakan untuk litbang ini di-*annealing* selama  $\pm 4$  jam menggunakan oven, pada suhu  $230^{\circ}\text{C}$ . Tujuannya untuk menghilangkan sisa elektron yang terperangkap pada materi/bahan TLD.

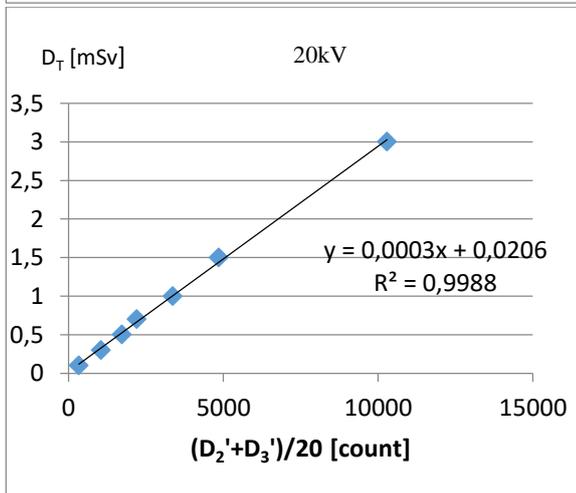
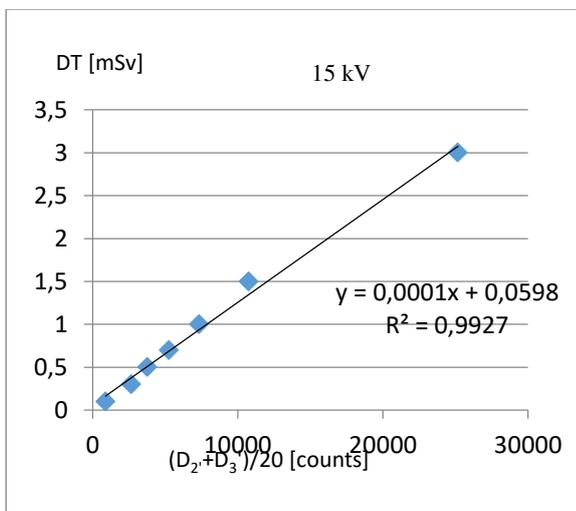
Dilakukan pengecekan keseragaman TLD. TLD disinari dengan dosis yang sama ( $\pm 1\text{mSv}$ ). Setelah didiamkan selama 24 jam, TLD dibaca dengan TLD-Reader. TLD dikelompokkan berdasarkan keseragamannya.

Untuk mendapatkan respon TLD terhadap sinar-X/foton, dilakukan penyinaran TLD pada phantom PMMA, dengan dosis (0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1; 1,5; 3) mSv dan gamma (0,5; 1; 2; 5; 10 ; 20) mSv, pada jarak sumber ke TLD 200 cm. Setiap penyinaran dengan dosis yang sama, digunakan 4 TLD. Setelah dibiarkan selama 24 jam, TLD yang sudah disinari, dibaca dengan system TLD-Reader. Bacaan yang diperoleh dari TLD-Reader adalah  $D_1$ ,  $D_2$  dan  $D_3$ . Diperoleh juga bacaan background atau control :  $D_1$ ,  $D_2$ , dan  $D_3$ . Dengan mengurangi bacaan TLD yang disinari dengan control, maka diperoleh nilai  $D_1'$ ,  $D_2'$  dan  $D_3'$ . Dengan menggunakan algoritma (1), (4b) dan (4c), respon TLD terhadap  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , dan sinar-X diperoleh. Data respon ini kemudian diplot, hubungan antara Dosis (mSv) dan Respon. Dari kurva respon terhadap dosis, diperoleh kurva respon terhadap energi. Respon TLD naik dengan kenaikan energi, namun tidak linier. Respon yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi dosis pekerja radiasi.

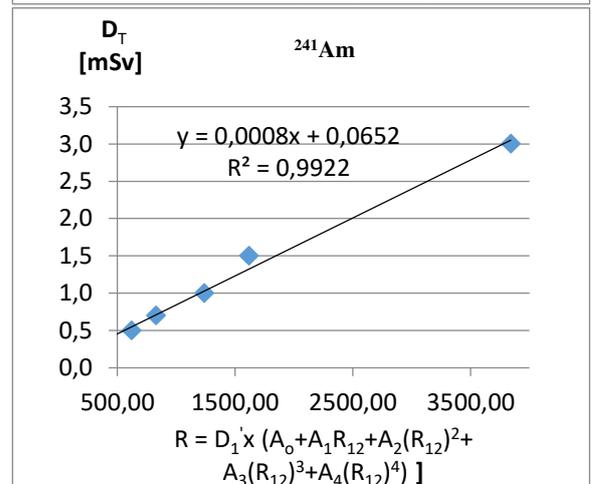
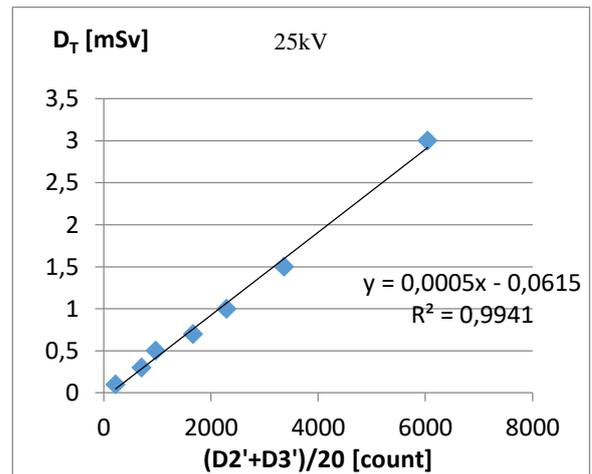
Dalam perhitungan respon TLD dan evaluasi dosis, dilengkapi dengan perhitungan ketidakpastiannya. Dengan menggunakan referensi JCGM 100-2008, *Evaluation of measurement data, Guide to the expression of uncertainty in Measurement, 2008*, diperoleh nilai ketidakpastian bentangan untuk masing-masing respon TLD dan evaluasi dosis pekerja radiasi [8].

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

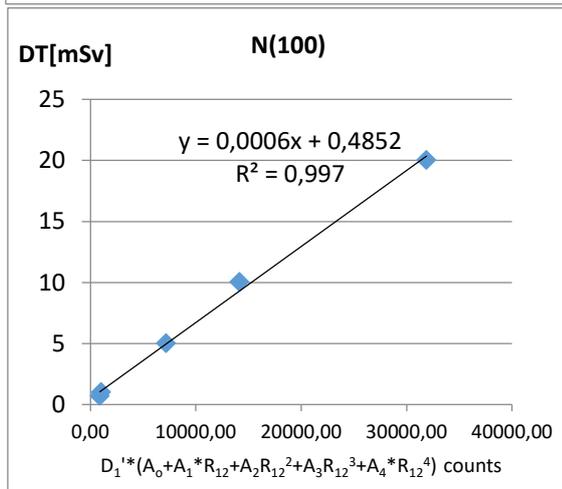
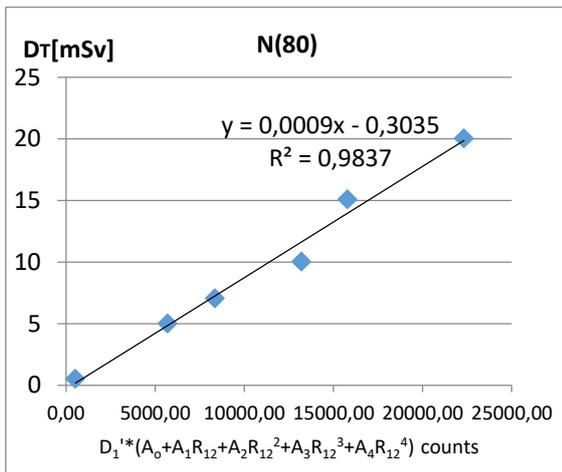
TLD BARC memiliki respon linier terhadap dosis. Pengaruh dosis pada energi sinar-X (15-25) kV, gamma : (59,5 keV ( $^{241}\text{Am}$ ), sinar-X 80kV dan 100 kV serta 661,6 keV ( $^{137}\text{Cs}$ )) disajikan pada Gambar 6, 7, 8 dan 9. Untuk sinar-X (15 dan 20) kV, responnya adalah 0,0001 dan 0,0003 (Gambar 6), Untuk sinar-X 25 kV dan  $^{241}\text{Am}$ , responnya adalah 0,0005 dan 0,0008 (Gambar 7). Untuk sinar-X (80 dan 100) kV, responnya adalah 0,0009 dan 0,0006 (Gambar 8). Untuk gamma  $^{137}\text{Cs}$ , responnya adalah 0,001 (Gambar 9).



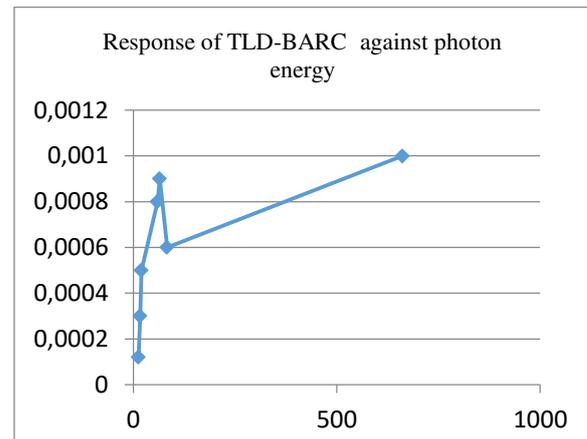
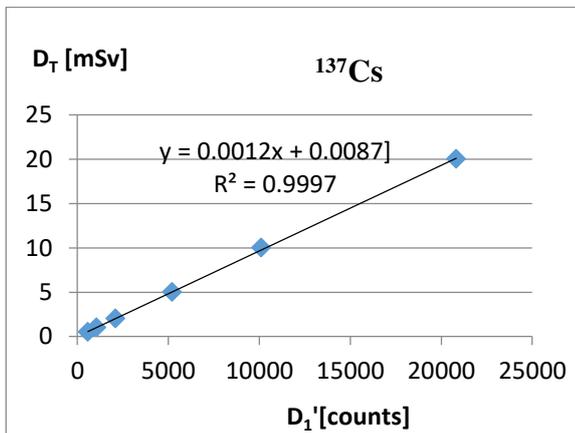
**Gambar 6.** Respon TLD BARC terhadap dosis linier, pada sinar-X 15 kV (kiri) dan 20 kV (kanan).



**Gambar 7.** Respon TLD BARC terhadap dosis linier pada sinar-X 25 kV (kiri) dan  $^{241}\text{Am}$  (kanan).



**Gambar 8.** Respon TLD BARC terhadap dosis linier pada sinar-X (N80) (kiri) dan N(100) (kanan).



**Gambar 9.** Respon TLD BARC terhadap dosis linier pada  $^{137}\text{Cs}$  (kiri), sedangkan respon TLD terhadap energi foton (kanan).

Setelah diperoleh respon TLD BARC pada rentang energi (12,7- 661,6 keV, kemudian diplot, hasilnya disajikan pada Gambar 9 (kanan). Respon TLD terhadap energi radiasi, naik dengan bertambahnya energi (12,5 – 65) keV. Pada rentang energi ini, materi TLD BARC (CaSO<sub>4</sub>:Dy) mampu menyerap seluruh energi radiasi yang datang dan pada energi 85 keV/ 100 kv, responnya turun. Kurva respon TLD pada rentang energy (85 -661,6) keV naik kembali, Gambar 9 (kanan).

Material TLD dengan nomor atom efektif ( $Z_{\text{eff}}$ ) tertentu dan komposisi material berbeda akan mempengaruhi respon TLD. Kemampuan serap TLD bergantung pula pada dimensi bahan TLD. Namun karena TLD BARC yang kami amati hanya satu jenis dimensi dan komposisi maka tidak ada perbandingan.

Dengan diperolehnya nilai respon TLD BARC pada rentang energy (12,7-661) keV, dapat digunakan untuk mengevaluasi dosis yang diterima pekerja radiasi. Apabila kita menerima TLD BARC milik pelanggan, kemudian kita baca TLD tersebut dengan Reader TLD BARC, maka akan diperoleh bacaan  $D_1$ ,  $D_2$  dan  $D_3$ . Kurangkan nilai tersebut dengan kontrolnya. Lalu gunakan algoritma 1 s/d 4, untuk mengetahui TLD tersebut digunakan pada daerah kerja : gamma, beta, beta-gamma, atau X-gamma. Setelah kita dapatkan daerah kerjanya, misal X-gamma), maka gunakan algoritma 4 untuk mengevaluasi dosisnya.

Pada setiap hasil pengukuran, harus disertai dengan nilai ketidakpastian pengukuran. Sebagai contoh perhitungan ketidakpastian pada respon TLD, disajikan pada Tabel 2. Budget ketidakpastian pengukuran pada penentuan nilai respon TLD memperhitungkan ketidakpastian tipe A,  $u_A$  yang meliputi ketidakpastian  $u_A$ , simpangan,  $u_S$ , ketidakpastian background,  $u_{BG}$ , dan ketidakpastian tipe B,  $u_B$  yang meliputi : ketidakpastian *uniformity*,  $u_{\text{nif}}$ , ketidakpastian *fading*,  $u_{\text{fad}}$ , dan ketidakpastian irradiasi,  $u_{\text{irrad}}$ . Selanjutnya dihitung ketidakpastian kombinasi,  $u_c$ , dan ketidakpastian bentangan,  $u_{\text{exp}}$ . Dalam evaluasi dosis, ketidakpastian diberikan dalam tingkat kepercayaan 95%.

**Tabel 2.** Budget Ketidakpastian Respon (R) TLD BARC Untuk sinar-X (15 kV) [8]

R(15kV)	D <sub>m</sub>	u <sub>R</sub>	S(%)	u <sub>A</sub>	u <sub>res</sub>	u <sub>uniform</sub>	u <sub>fad</sub>	u <sub>irrad</sub>	u <sub>c</sub>	u <sub>exp</sub>
0.00011	0.1129	2.3	4.53	1.55	0.11	2.12	0.5	2	6.1	12.2
0.00011	0.3358	2.3	4.04	5.04	0.04	2.12	0.5	2	7.5	14.9
0.00013	0.4770	2.3	4.22	4.72	0.03	2.12	0.5	2	7.4	14.7
0.00013	0.6661	2.3	4.35	4.16	0.02	2.12	0.5	2	7.1	14.2
0.00014	0.9320	2.3	5.32	3.89	0.01	2.12	0.5	2	7.6	15.2
0.00014	1.3664	2.3	6.38	3.86	0.01	2.12	0.5	2	8.3	16.7
0.00012	3.1971	2.3	1.36	3.70	0.004	2.12	0.5	2	5.4	10.9
								Rerata	7.1	14.0

R : Respon TLD

D<sub>m</sub> : *measured Dose* (mSv) → dosis hasil perhitungan atau pengukuran

D<sub>T</sub> : *True Dose* (mSv) → dosis yg diberikan SSDL

u<sub>R</sub> : Ketidakpastian Respon

S : Standar deviasi dari nilai performance Pi,

$$S = \sigma_P = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{(n-1)} \right\}^{1/2}, P_i = \frac{D_m - D_T}{D_T} \quad [7, \text{Appendix P}]$$

u<sub>A</sub> : Ketidakpastian statistic

u<sub>res</sub> : Ketidakpastian resolusi

u<sub>uniform</sub> : Ketidakpastian *uniformity*

u<sub>fad</sub> : Ketidakpastian *fading*

u<sub>irrad</sub> : Ketidakpastian irradiasi

u<sub>c</sub> : *combined uncertainty* (%)

U<sub>exp</sub> : *expanded uncertainty*

Dengan cara yang sama, dapat dihitung ketidakpastian respon TLD untuk energy 20, 25 kV; 59,5; (80; 100) kV dan 661,6 keV.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

- Pada kegiatan litbang ‘Pengaruh sinar-X/ foton (12,7-661,6) keV terhadap respon TLD diperoleh hasil sebagai berikut:
  - a. Pada E = 12,7 keV, Respon TLD = [0,00012X + 0,0598] mSv/reading ± 7,1%,
  - b. Pada E = 16,5 keV, Respon, TLD = [0,0003X - 0,0264] mSv/reading ± 6,3 % ,
  - c. Pada E = 20 keV, Respon, TLD = [0,0005X - 0,0615] mSv/reading ± 6,3%, X = [(D<sub>2</sub>' + D<sub>3</sub>')/20]
  - d. Pada E=59,5 keV, Respon TLD = [0,0008X + 0,0652] mSv/reading ± 8,4 %
  - e. Pada N(80)/E = 65 keV, Respon TLD = [0,0009X + 0,3035 ] mSv/reading ± 5.2%,
  - f. Pada N(100)/E = 80 keV, Respon TLD = [0,0006X + 0,4852 ] mSv/reading ± 9.6%, X= D<sub>1</sub>' (A<sub>0</sub>+A<sub>1</sub>R<sub>12</sub>+A<sub>2</sub>R<sub>12</sub><sup>2</sup>+ A<sub>3</sub>R<sub>12</sub><sup>3</sup>+A<sub>4</sub>R<sub>12</sub><sup>4</sup>) counts, and R = D<sub>2</sub>' / D<sub>1</sub>'
  - g. Pada E= 661 keV, Respon, TLD = [ 0,001X + 0,0087] mSv ± 3,4% (CL= 67%), X= [D<sub>1</sub>']
- Untuk mengevaluasi dosis pekerja radiasi yang bekerja di wilayah energy (12,7-661,6)

keV, nilai respon TLD dikalikan dengan bacaan TLD BARC .

- Dengan menggunakan algoritma tersebut, kita bisa mengetahui, di daerah energy berapa seseorang bekerja, setelah TLD BARC dibaca dengan *TLD-Reader*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Egenes Ekaranti dan Irma Dwi Rahayu, staf subbidang Keselamatan Kerja dan Proteksi radiasi yang telah membantu menyiapkan TLD BARC untuk keperluan kegiatan litbang ‘Pengaruh energy sinar-X/foton terhadap respon TLD BARC’.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://z-energivan.blogspot.co.id/2014/12/radiasi-elektromagnetik.html>: Radiasi elektro-magnetik, Manfaat dan bahayanya, 2014.
- [2] <https://id.wikipedia.org/wiki/Radiasi> (2017): Radiasi, 31 Januari 2017.
- [3] PERKA BAPETEN No. 4/ (2013) tentang Persyaratan Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir, Jakarta, 2013.
- [4] [www.barc.gov.in/technologies/tld.html](http://www.barc.gov.in/technologies/tld.html) : THERMOLUMINESCENT DOSIMETER (TLD) BADGE, 2015.

- [5] IAEA-Safety Series 115, (2000), International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the safety of Radiation Sources, IAEA, Vienna, 2000.
- [6] IAEA Safety Standards Series (1999), Assessment of Occupational Exposure due to External Sources of Radiation, Safety Guide No. RSG-1.3, Vienna, 1999.
- [7] AS Pradhan, MM Adtani G Varadharajan, AK Bakshi, Kshama Srivastava and R.R Bihari (2002), Handbook on The Use of TLD Badge Based on CaSO<sub>4</sub>:Dy Teflon TLD Discs for Individual Monitoring, Bhabha Atomic Research Centre, India, 2002.
- [8] JCGM 100-2008, Evaluation of measurement data, Guide to the expression of uncertainty in Measurement, 2008.
- [9] Nazaroh, Sri Subandini, Nina Herlina dan Rofiq Syaifudin, Performance Sistem TLD BARC PTKMR-BATAN Periode 2013-2015, Seminar TARN, Serpong, 23 Agustus 2016.
- [10] Nazaroh, Rofiq Syaifudin, Sri Subandini Lolaningrum, dan Nina Herlina, Jaminan Mutu Layanan Evaluasi Dosis Perorangan dengan TLD BARC di PTKMR-BATAN (2016), Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV, PITNUKLIR, 2016.



## **PENGAWASAN DOSIS PEKERJA RADIASI MENGGUNAKAN BALIS PENDORA (PENCATATAN DOSIS PEKERJA RADIASI) SEBAGAI NATIONAL RADIATION WORKER DOSE REGISTRY (NRWDR)**

**Arifin Muhammad Wibowo Fajariadi**

*Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: [a.mwibowo@bapeten.go.id](mailto:a.mwibowo@bapeten.go.id) dan [f.fajariadi@bapeten.go.id](mailto:f.fajariadi@bapeten.go.id)

### **ABSTRAK**

Pengawasan terhadap dosis yang diterima pekerja radiasi memenuhi salah satu amanat dari Undang Undang No.10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran yaitu menjamin keselamatan pekerja radiasi, masyarakat, dan lingkungan. Pekerja radiasi adalah pekerja yang berpotensi mendapatkan dosis radiasi melebihi dosis masyarakat dan tidak diperbolehkan mendapatkan dosis melebihi NBD (Nilai Batas Dosis) sebesar 20 msv/th. Pengawasan terhadap pekerja diupayakan pekerja tidak mendapatkan dosis mendekati NBD. Pelaksanaan pengawasan melalui evaluasi terhadap laporan dosis yang diterima pekerja radiasi. Balis Pendora merupakan suatu aplikasi yang dapat melakukan proses pengelolaan data dosis pekerja bagi setiap laboratorium dosimetri dan juga sebagai pengawasan pekerja radiasi dengan cepat dan tepat. Balis pendora dapat dijadikan suatu aplikasi untuk membuat Laporan Hasil Uji (LHU) TLD yang selanjutnya dilaporkan ke Pemegang izin dan BAPETEN. Balis Pendora juga mengevaluasi dengan dibandingkan dengan tingkat pengawasan dosis dari 3/10 NBD hingga  $D > 100$  mSv. Setiap tingkat pengawasan dosis akan menghasilkan Tindak Lanjut Hasil Evaluasi (TLHE) berupa surat teguran dan peringatan. Setiap TLHE akan terhubung dengan Sistem BALIS Perizinan dan Inspeksi sehingga dapat segera ditindaklanjuti.

**Kata kunci:** Dosis Pekerja, NBD, Tingkat Pengawasan Dosis, dan TLHE

### **ABSTRACT**

*The supervision of radiation workers fulfills mandates of Law No. 10 of 1997, which to ensure the safety of radiation worker, public community and environmental. Radiation workers is a worker that get a radiation exposure more than public but not more than Dose Limit Value (NBD) of 20 mSv/yr. Evaluation dose report periodically to BAPETEN from Dosimetry Laboratory. Those report should be evaluate to comply regulation. Balis Pendora is an application that can perform data management process from laboratory and deliver the report to BAPETEN. Balis Pendora also as a tool to evaluate of radiation workers quickly and precisely. Evaluated by comparison with the dose level. Any violation of that level will result in a warning. TLHE will connect with Licensing and Inspection BALIS System so it can be acted upon immediately.*

**Keywords:** Worker dose, NBD, Dose level, and TLHE.

### **I. PENDAHULUAN**

Pekerja radiasi merupakan operator/ pelaksana dari setiap pemanfaatan nuklir di Indonesia. Pekerja radiasi memegang peranan penting dalam terlaksananya pemanfaatan nuklir secara selamat dan aman. Dosis yang diterima pekerja radiasi merupakan suatu indikator bahwa pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir terlaksana dengan aman dan selamat.

Dalam pelaksanaan pemantauan dosis pekerja setiap pemegang izin wajib melakukan pemantauan dosis pekerja[1]. Pemantauan dosis radiasi tersebut menggunakan suatu alat yang berupa monitor perorangan (MP) seperti Film Badge (FB) dan TLD. Setiap monitor tersebut dievaluasi oleh Laboratorium Dosimetri yang terakreditasi[1].

Hasil evaluasi dari Laboratorium Dosimetri disampaikan kepada pemegang izin dan BAPETEN [1]. Hasil evaluasi tersebut (LHU) yang akan menggambarkan dosis yang diterima pekerja radiasi tersebut. Proses penyampaian laporan yang terkadang

terlambat beberapa bulan menghambat pengawasan terhadap pekerja radiasi tersebut. Keterlambatan penyampaian laporan dikarenakan keterlambatan Pemegang Izin mengirimkan TLD/FB kepada Laboratorium Dosimetri sehingga memperlambat proses evaluasi. Hal tersebut diperparah jika pekerja radiasi yang terlambat dalam penyampaian laporan juga mendapatkan dosis melebihi NBD. Dalam kondisi tersebut pengawasan menjadi tidak maksimal.

Dalam rangka pengawasan yang menyeluruh terhadap pekerja radiasi maka BAPETEN telah membuat suatu aplikasi yang berbasis terhadap *National Radiation Worker Dose Registry* (NRWDR), terhubung dengan setiap Laboratorium Dosimetri, Perizinan, dan Inspeksi yang bernama Balis Pendora. Balis Pendora memberikan keuntungan bagi Laboratorium Dosimetri yaitu sebagai aplikasi pengganti dalam pengelolaan laporan hasil uji TLD/FB sehingga dapat mempermudah dalam penyampaian laporan hasil uji kepada Pemegang Izin dan BAPETEN. Tindak lanjut diberikan kepada

pekerja/ pemegang izin yang melanggar tingkat dosis dan periode pelaporan.

Sehingga dengan terintegrasi antara Laboratorium Dosimetri dengan BAPETEN (BALIS) terhadap pemantauan dosis pekerja maka keselamatan pekerja dapat terus terpantau dan terawasi.

**II. METODOLOGI**

Metodologi dari pembuatan makalah ini adalah dengan

1. Studi literatur terhadap pelaksanaan *National Dose Registry* terhadap perencanaan dan implementasi yang berupa makalah-makalah serta publikasi resmi dari badan pengawas tenaga nuklir di luar negeri,
2. Karakterisasi kepada laboratorium dosimetri dan pengguna terhadap kebutuhan data dosis yang cepat dan tepat.
3. Koordinasi teknis kepada laboratorium dosimetri terhadap perencanaan pembuatan Balis Pendora.

**III. POKOK BAHASAN**

Pencatatan dosis pekerja radiasi secara nasional (NRWDR) suatu kumpulan data yang mencatat dosis pekerja seluruh Indonesia dengan pokok-pokok seperti [2;6]:

- Memantau dosis secara periodik (1 tahun/5 tahun),
- Menelusur asal-usul penerimaan dosis dari tiap instansi,
- Identifikasi dosis melebihi tingkat dosis, dan
- Tindak lanjut dosis.

Balis Pendora sebagai NRWDR menghadirkan suatu aplikasi yang dapat mencatat dan memantau dosis pekerja radiasi perorangan secara langsung berdasarkan laporan dari Laboratorium dosimetri.

Entitas utama dalam Balis Pendora adalah Laboratorium dosimetri. Laboratorium dosimetri sebagai laboratorium yang terakreditasi yang melakukan evaluasi terhadap TLD/FB[1].

Laboratorium dosimetri di Indonesia terdiri dari[4] yaitu BPFK Jakarta; BPFK Medan; BPFK Surabaya; BPFK Makassar; LPFK Solo; LPFK Banjarbaru; PTKMR; PPIKSN; dan PT. Asialab.

Hasil laporan dari laboratorium dosimetri disampaikan kepada Pemegang izin dan BAPETEN paling lama 30 hari kerja sejak TLD/FB diterima oleh Laboratorium dosimetri[3]. Selain itu juga jika terdapat dosis melebihi NBD maka maksimal 3 hari kerja[3].

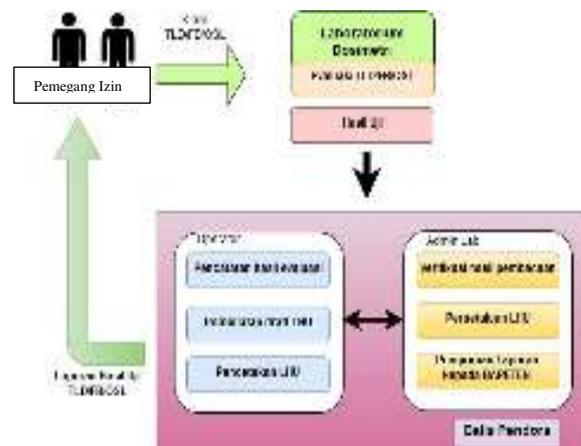
Laporan evaluasi TLD/FB (LHU TLD/FB) dikeluarkan/ diterbitkan setelah proses pembacaan TLD/FB selesai dilaksanakan dan disesuaikan dengan pekerja dan instansi masing-masing. Berikut urutan evaluasi TLD/FB.



**Gambar 1.** Alur evaluasi TLD/FB dan Laporan

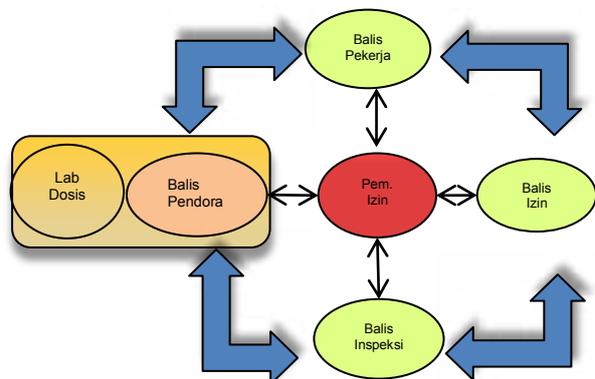
Balis Pendora memposisikan bahwa aplikasi ini dapat digunakan oleh laboratorium dosimetri dalam pencatatan dan pembuatan laporan sesuai dengan petugas pelaksana yaitu pelaksana teknis dan penyelia[3]. Tugas dari pelaksana teknis yaitu evaluasi pembacaan TLD/FB dan pembuatan draft LHU TLD/FB dan selanjutnya diverifikasi oleh penyelia[3]. Balis Pendora terdiri dari dua akun yaitu operator (pelaksana teknis) dan admin lab (Penyelia).

Keseluruhan tugas tersebut terakomodir di Balis Pendora. Dalam alur terlihat proses pembuatan dan pengiriman laporan dilakukan melalui Balis Pendora sehingga output yang berupa LHU TLD/FB dapat dikirimkan kepada Pemegang izin dan secara online kepada BAPETEN. Pelaporan kepada BAPETEN dilakukan secara online akan mempercepat masuknya data sehingga pokok NRWDR dapat tercapai.



**Gambar 2.** Alur Balis Pendora - Laboratorium Dosimetri

Balis Pendora dalam pembuatannya telah terkait dengan instrumen pengawasan BAPETEN seperti Balis Perizinan, Balis Inspeksi, dan Balis Pekerja sehingga keterkaitan data antara data izin, data pekerja, dan data dosis serta hasil pelaksanaan inspeksi dapat terintegrasi.



**Gambar 3.** Keterkaitan Balis Pendora dengan Instrumen Balis BAPETEN

**IV. PENGAWASAN DOSIS PEKERJA RADIASI**

Penerimaan dosis setiap pekerja merupakan poin utama dalam pengawasan dosis pekerja.

Berdasarkan penerimaan tersebut dapat dilihat total penerimaan dosis selama 1 tahun dan 5 tahun. Selain itu juga identifikasi terhadap penerimaan dosis melebihi tingkat dosis dan tindak lanjutnya.

Tabel 1. Identifikasi dosis Hp10 dan Tindak Lanjut[5]

Identifikasi dosis dilakukan dengan membandingkan dengan data dosis yang dilaporkan oleh laboratorium dosimetri dengan tingkat dosis tersebut diatas. Untuk kejadian dosis yang melebihi NBD  $D > 50$  mSv maka tindak lanjut dapat dilihat pada tabel 2.

Laporan KPK (Kajian penyebab terjadi kejadian) wajib di laporkan oleh pemegang izin dalam menjawab kronologis kejadian mendapat dosis melebihi NBD. Dalam kelanjutannya akan dilakukan pemanggilan dan pemeriksaan pekerja. Selain itu terdapat juga identifikasi terhadap dosis kulit (Hp0.07) dan mata (Hp3).

Tabel 2. Identifikasi dosis Hp10 dan Tindak Lanjut (lanj.)[5]

Tingkat dosis (mSv)	Kode	Tindak Lanjut
$50 < D < 100$	Merah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran</li> <li>Permintaan laporan kronologis KPK untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun hingga 5 tahun kedepan</li> <li><b>Pemanggilan &amp; Pemeriksaan pekerja</b></li> <li><b>Pemberhentian bekerja pada tahun tersebut</b></li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> selama hingga 5 tahun kedepan</li> </ul>
$D > 100$	Merah Tua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran dan memintakan laporan KPK</li> <li><b>Pemanggilan &amp; Pemeriksaan pekerja</b></li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> 5 tahun kedepan</li> <li><b>Pemberhentian bekerja selamanya jika terbukti menerima</b></li> </ul>

Tabel 3. Identifikasi dosis mata dan Tindak Lanjut (lanj.)[5]

Tingkat dosis (mSv)	Kode	Tindak Lanjut
$20 < D < 50$	Kuning	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran dan memintakan laporan KPK untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun hingga 5 tahun kedepan</li> <li><b>Pemeriksaan pekerja</b></li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> selama 1 kedepan</li> </ul>
$D > 50$	Merah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran dan memintakan laporan KPK untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun hingga 5 tahun kedepan</li> <li><b>Pemeriksaan pekerja</b></li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> hingga 5 tahun kedepan</li> </ul>

Tabel 4. Identifikasi dosis kulit dan Tindak Lanjut (lanj.)[5]

Tingkat dosis (mSv)	Kode	Tindak Lanjut
$> 500$ mSv	Merah	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran dan memintakan laporan KPK untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun hingga 5 tahun kedepan</li> <li><b>Pemeriksaan pekerja</b></li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> selama 1 hingga 5 tahun kedepan</li> </ul>

Keterlambatan pelaporan LHU TLD/FB juga menjadi identifikasi utama dalam pengawasan dosis pekerja. Berikut identifikasi keterlambatan periode pelaporan dan tindak lanjutnya

Tingkat dosis (mSv)	Kode	Tindak Lanjut
$0 < D < 3/10$ NBD atau $0 < D < 6$	Hijau	Dicatat
$3/10$ NBD $< D < 20$ Atau $6 < D < 20$	Kuning	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat peringatan untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun kedepan</li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> selama 1 tahun kedepan</li> </ul>
$20 < D < 50$	Orange	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notifikasi</li> <li>Surat teguran untuk memperhatikan penerimaan dosis setahun kedepan</li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> selama 1 tahun kedepan</li> <li><b>Dicatat dan diperhatikan</b> hingga 5 tahun kedepan</li> </ul>

Tabel 5. Identifikasi keterlambatan periode pelaporan dan Tindak Lanjut

Jenis	Periode dosis	Tindak lanjut
TLD	0 - 1 triwulan tidak terisi	- Terekam dan tercatat
	$> 1$ triwulan + 1 bulan tidak terisi	- Notifikasi kepada BAPETEN - Surat teguran kepada Pemegang izin lewat email - Surat tembusan kepada Laboratorium - Terekam dan tercatat
		Jika dari hasil Teguran I dengan jeda waktu 2 bulan belum ditindaklanjuti maka akan ada teguran.
FB	0 - 3 bulan tidak terisi	- Terekam dan tercatat
	$> 3$ bulan tidak terisi + 1 bulan	- Notifikasi kepada BAPETEN - Surat teguran kepada Pemegang izin lewat email - Surat tembusan kepada Laboratorium - Terekam dan tercatat
		Jika dari hasil Teguran I dengan jeda waktu 2 bulan belum ditindaklanjuti maka akan ada teguran.

Keterlambatan penyampaian pelaporan diindikasikan adanya ketidakpatuhan Pemegang izin terhadap peraturan[1], sehingga upaya pembinaan dan penegakan hukum harus terus dilakukan agar keselamatan pekerja tetap terjamin.

## V. KESIMPULAN

Kesimpulan dari makalah ini adalah:

- Balis Pendoro sebagai NRWDR menjadi pusat data dosis pekerja radiasi secara nasional.
- Balis Pendoro sebagai aplikasi pengawasan BAPETEN dan laboratorium dosimetri kepada pekerja radiasi,
- Pengawasan dalam Balis Pendoro dilakukan secara terintegrasi dengan dari hulu (perizinan) hingga hilir (inspeksi) sehingga keselamatan pekerja akan terus terjamin.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Tim Bagian Data dan Informasi- Biro Perencanaan BAPETEN yang telah membuat dan menyempurnakan aplikasi ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] PP 33 Th 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif,
- [2] [www.arpansa.gov.au](http://www.arpansa.gov.au)
- [3] Perka Bapeten No. 11 tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna,
- [4] Daftar Laboratorium Dosimetri Eksterna, No. 1003/PI 05/DKKN/VIII/2016
- [5] PU/07; Prosedur Pengawasan Pemantauan Dosis Pekerja Radiasi Melebihi NBD; 2013
- [6] The National Dose Registry for Radiation Workers in Switzerland, Moser,M; 1995



## KAJIAN REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESIAPSIAGAAN DAN PENANGGULANGAN KEDARURATAN NUKLIR

**Mohamad Mamat, Bambang Eko Aryadi**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

email: m.mamat@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Perka BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir disusun berdasarkan dokumen IAEA GS-R-2 tentang *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency* yang terbit pada Tahun 2002. Berdasarkan pelajaran yang diidentifikasi pada latihan-latihan dan dari pelaksanaan respons terhadap kedaruratan, termasuk tanggapan atas kecelakaan di pembangkit listrik tenaga nuklir Fukushima Daiichi di Jepang pada bulan Maret 2011 serta pertimbangan dari rekomendasi *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* maka pada tahun 2015 IAEA telah menerbitkan dokumen revisi dari GS-R. 2 yaitu dokumen *GSR Part 7* dengan judul dokumen yang sama dengan judul dokumen GS-R-2. Dengan adanya perubahan dan penyempurnaan Dokumen IAEA tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan dan penyempurnaan terhadap peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 yang didahului dengan studi terhadap referensi pendukung. Selain itu draft Perka yang baru juga akan memuat pengaturan kesiapsiagaan dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif dimana ketentuan-ketentuannya akan bersumber dari referensi yang terkait. Dari studi yang telah dilakukan, dihasilkan beberapa rekomendasi untuk memperbaiki atau menyempurnakan peraturan Kepala BAPETEN tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir.

**Kata kunci:** revisi, kesiapsiagaan kedaruratan nuklir, respons

### ABSTRACT

*BAPETEN Chairman Regulation No. 1 of 2010 on Nuclear Emergency Preparedness and Response was prepared under the IAEA GS-R-2 document on Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency published in 2002. Based on the lesson learned during emergency exercises and experience gained when implementing emergency response, including emergency response to accidents that occur at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant in Japan in March 2011 as well as considerations from the International Commission on Radiological Protection (ICRP), in the 2015 the IAEA has issued GSR Part 7. The GSR Part 7 has the same title as the title of GS-R-2. With the amendment and refinement of this IAEA Document, it is necessary to improve the BAPETEN Chairman Regulation No. 1 of 2010. To improve the draft of BAPETEN Chairman Regulations on Nuclear Emergency Preparedness and Response, a study to support this activity have been conducted. In addition, the new draft of the BAPETEN Chairman Regulations will also contain preparedness arrangements in the transport of radioactive materials in which the provisions will be taken from the relevant references. From the studies that have been conducted, some recommendations have been made to improve this BAPETEN Chairman Regulations on Nuclear Emergency Preparedness and Response.*

**Keywords:** amendment, nuclear emergency preparedness, response

## I. PENDAHULUAN

Sebagai negara yang telah menandatangani *Convention on Early Notification of a Nuclear Accident* dan *Convention on Assistance In the Case of a Nuclear or Radiology Emergency* pada Tahun 1993 dan telah diimplementasikan oleh Pemerintah Indonesia ke dalam Keputusan Presiden No. 81 dan 82 Tahun 1993 maka Indonesia mempunyai kewajiban untuk menyusun dan mengembangkan kerangka regulasi terkait kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir.

Di Indonesia, landasan hukum dari pelaksanaan, implementasi dan evaluasi Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir didasari pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang

Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, PP No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, dan PP No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, sedangkan Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir merupakan amanah dari Pasal 14 ayat (2) PP No. 43 Tahun 2006 tentang Perizinan Reaktor Nuklir yang pada saat ini sudah diganti oleh PP No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir sehingga untuk amanah pembentukan Perka BAPETEN tersebut sudah tidak relevan lagi.

Adapun dasar dari penyusunan peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tersebut adalah disusun berdasarkan dokumen IAEA GS-R-2 tentang *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency* yang terbit pada Tahun 2002. Berdasarkan pelajaran yang diambil dari indentifikasi pada latihan-latihan dan dari pelaksanaan respons terhadap kedaruratan, termasuk tanggapan atas kecelakaan di pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) Fukushima Daiichi di Jepang pada bulan Maret 2011 dan dengan pertimbangan dari rekomendasi *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) maka pada Tahun 2017 IAEA telah menerbitkan dokumen revisi dari GS-R-2 yaitu dokumen *GSR Part 7* dengan judul dokumen yang sama dengan judul dokumen GS-R-2 yang merupakan penyempurnaan dari GS-R-2.

Dengan adanya perubahan dan penyempurnaan Dokumen IAEA tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan dan penyempurnaan terhadap peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010. Penyempurnaan diperlukan agar Perka BAPETEN ini sejalan dengan perkembangan standar internasional yang berlaku saat ini sehingga ketentuan-ketentuan yang ada pada Perka BAPETEN baru telah mencakup ketentuan-ketentuan terkini dengan tujuan utama yaitu melindungi pekerja kedaruratan, masyarakat dan lingkungan hidup. Pada tahun 2017 Direktorat Peraturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir / DP2IBN - BAPETEN melaksanakan revisi peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir [6].

Selain karena pertimbangan telah diterbitkannya GSR part 7, revisi Perka ini juga direncanakan akan memasukkan ketentuan mengenai penanggulangan kedaruratan dalam pengangkutan zat radioaktif yang merupakan amanah dari Pasal 78 PP No. 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif [1].

Untuk mendukung kegiatan revisi Perka BAPETEN ini telah dilakukan studi literatur oleh kedua penulis sebagai pendukung revisi peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir. Studi ini diharapkan mampu membantu memperbaiki dan menyempurnakan peraturan Kepala BAPETEN ini.

## II. METODOLOGI

Metode kajian dilakukan dengan cara studi pustaka yang bersifat komparatif, diskusi dengan personil penanggung jawab kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir dan narasumber yang mempunyai kompetensi di bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir. Kajian dilakukan dengan memetakan ketentuan-ketentuan atau pokok-pokok permasalahan yang ada pada Perka BAPETEN No. 1 Tahun 2010 dibandingkan dengan persyaratan-persyaratan yang ada pada dokumen GSR Part 7. Selain itu dikaji pula poin-poin yang menjadi perhatian utama yang harus diperhatikan dan dipertimbangkan dalam penerapan program kesiapsiagaan nuklir (yang didalamnya termasuk juga penanggulangan kedaruratan

nuklir) di instalasi nuklir dan fasilitas radiasi termasuk pada saat pengangkutan zat radioaktif.

### 1. Hasil dan Pembahasan

Dari kajian yang telah dilakukan, dihasilkan rekomendasi untuk memperbaiki atau menambahkan hal-hal berikut pada Perka BAPETEN tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir (KPKN) yang baru, antara lain:

#### 3.1. Ketentuan Baru Berdasarkan GSR Part 7

#### 3.2. Persyaratan Umum [7]

##### 3.2.1. Sistem manajemen kedaruratan

Berdasarkan *requirement* 1 dari poin 4.1-4.3 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan mengenai penetapan unsur-unsur yang saling terkait atau saling berinteraksi yang dibutuhkan untuk mendukung penetapan dan pencapaian tujuan KPKN dengan pengintegrasian ke dalam pendekatan ke semua bahaya.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level peraturan pemerintah karena memiliki kekuatan hukum (mengikat) lebih tinggi dari pada level Perka BAPETEN yang hanya dapat mengatur pemegang izin saja.

##### 3.2.2. Tugas dan Tanggungjawab dalam KPKN

Berdasarkan *requirement* 2 dari poin 4.5-4.17 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan mengenai:

- Persiapan untuk mengantisipasi, mempersiapkan, merespons dan memulihkan keadaan darurat nuklir atau radiologi pada organisasi pengoperasi baik di tingkat *site*, daerah dan nasional, serta di tingkat internasional.
- Kompensasi ganti rugi yang cepat dan memadai bagi korban karena kerusakan akibat kedaruratan nuklir atau radiologi.
- Dapat memasukan klausul mengenai Organisasi Tanggap Darurat Nuklir Nasional (OTDNN).

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level peraturan pemerintah karena memiliki kekuatan hukum (mengikat) lebih tinggi dari pada level Perka BAPETEN yang hanya dapat mengatur pemegang izin saja tetapi dapat juga mengikat badan/lembaga lain seperti BNPB dan BNPB selain pemegang izin.

##### 3.2.3. Kajian Bahaya

Berdasarkan *requirement* 4 dari poin 4.18-4.26 dokumen *GSR Part 7*

direkomendasikan adanya ketentuan mengenai:

- Harus ada definisi mengenai Kategori Kesiapsiagaan Kedaruratan (*EPC*) dan mendefinisikan ulang kategori IV dan V.

**Tabel. 3.1.** Kategori Kesiapsiagaan Kedaruratan (*EPC*)

Kategori	Bahaya
I	Efek kesehatan deterministik parah keluar tapak
II	Tindakan Proteksi Segera di luar tapak
III	Tidak ada bahaya di luar tapak – efek parah di dalam tapak
IV	Berlaku untuk semua negara
V	Area dengan zona perencanaan kedaruratan dan jarak untuk kategori I atau II di negara lain (seperti lintas batas)

- Adanya ketentuan mengenai bahaya harus diidentifikasi dan konsekuensi potensial dari keadaan darurat harus dinilai untuk memberikan dasar untuk menetapkan pengaturan untuk kesiapsiagaan dan tanggap darurat nuklir atau radiologi.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis dan akan lebih mudah direvisi apabila terjadi perubahan di masa depan.

### 3.2.4. Strategi Proteksi

Berdasarkan *requirement* 5 dari poin 4.27-4.31 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan mengenai:

- Pertimbangan harus diberikan terhadap tindakan yang harus diambil untuk menghindari atau meminimalkan efek deterministik parah dan untuk mengurangi risiko efek stokastik.
- Tingkat referensi yang dinyatakan dalam dosis sisa (*residual dose*).
- Kriteria generik nasional untuk mengambil tindakan protektif dan tindakan respons lainnya, dinyatakan dalam dosis yang diproyeksikan atau dosis yang telah diterima.
- Tindakan-tindakan proteksi dan tindakan tanggap yang dibenarkan

berdasarkan prinsip justifikasi dan optimisasi berdasarkan kajian bahaya agar selamat dan efektif.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis (angka-angka dosis) dan akan lebih mudah direvisi apabila terjadi perubahan di masa depan.

## 3.3. Persyaratan Fungsional

### 3.3.1. Mengelola Operasi Tanggap Darurat

Berdasarkan *requirement* 6 dari poin 5.2-5.10 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan mengenai:

- Untuk fasilitas kategori I, II dan III, pengaturan harus dilakukan agar tanggap darurat *on-site* yang dapat segera dikerahkan tanpa mengganggu kinerja kelanjutan fungsi keselamatan dan keamanan operasi baik di fasilitas atau pada fasilitas lain di tapak yang sama.
- Transisi dari operasi normal ke operasi yang berada pada kondisi darurat di tapak harus dapat ditentukan secara jelas dan harus ditentukan secara efektif.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.2. Pengelolaan Limbah Radioaktif

Berdasarkan *requirement* 15 dari poin 5.84-5.88 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan mengenai pengaturan limbah radioaktif yang timbul dari kedaruratan nuklir atau radiologi, termasuk limbah radioaktif yang timbul dari tindakan proteksi/perlindungan terkait dan tindakan penanggulangan lainnya yang dilakukan, harus diidentifikasi, diklasifikasi dan dikategorisasi dan harus dikelola dengan cara yang tidak membahayakan strategi perlindungan, dengan memperhitungkan kondisi yang berlaku saat ini.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan terhadap pemegang izin.

### 3.3.3. Koordinasi

Berdasarkan *requirement* 22 dari poin 6.12-6.15 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan mengenai kewajiban PI untuk mengkoordinasikan kesiapsiagaan dan respons terhadap kedaruratan nuklir atau radiologi dengan pemerintah di tingkat *off-site*, daerah, dan nasional serta internasional.

Ketentuan ini dapat dimasukkan dalam level peraturan pemerintah karena memiliki kekuatan hukum (mengikat) lebih tinggi dari pada level Perka BAPETEN yang hanya dapat mengatur pemegang izin saja tetapi dapat juga mengikat badan/lembaga lain seperti BNPB dan BNPB selain pemegang izin.

### 3.3.4. Permintaan, Penyediaan dan Penerimaan Bantuan Internasional

Berdasarkan *requirement* 17 dari poin 5.93-5.94 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan mengenai PI yang dapat meminta bantuan kesiapsiagaan dan respon internasional dalam kedaruratan nuklir atau radiologi melalui Pemerintah Indonesia.

Ketentuan ini dapat dimasukkan dalam level peraturan pemerintah.

### 3.3.5. Dukungan Logistik dan Fasilitas Respons

Berdasarkan *requirement* 24 dari poin 6.22-6.27 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan bagi PI:

- Untuk fasilitas kategori I dan II harus menyediakan pasokan logistik alternatif untuk melakukan tindakan mitigasi *on-site*.
- PI harus menempatkan dan menjaga pasokan logistik alternatif agar dapat berfungsi dan siap diakses ketika dibutuhkan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.6. Mengelola fasilitas medis

Berdasarkan *requirement* 12 dari poin 5.62-5.68 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Pengaturan bagi pemegang izin yang memiliki fasilitas kategori I, II, dan III harus mempunyai pengelolaan personil yang terkontaminsi atau individu-individu yang menerima paparan radiasi berlebihan.
- Pengaturan yang mencakup pertolongan pertama, perhitungan dosis, pengangkutan medis, dan pengobatan medis awal di fasilitas kesehatan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.7. Tindakan Proteksi Segera (*Urgent Protective Actions*) dan Tindakan Respons lain

Berdasarkan *requirement* 9 dari poin 5.31-5.44 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan:

- PI harus melakukan kajian kondisi kedaruratan dan menetapkan UPA dan tindakan respon lainnya dalam kedaruratan nuklir atau radiologi.
- PI yang memiliki fasilitas kategori I, II, atau III harus membuat pengaturan untuk segera mengkaji dan mengantisipasi:
  - a. kondisi abnormal di fasilitas;
  - b. Paparan, lepasan radioaktif, dan lepasan bahan berbahaya lainnya;
  - c. kondisi Radiologi di dalam tapak dan luar tapak (bila diperlukan);
  - d. paparan atau potensi paparan terhadap pekerja dan pekerja kedaruratan, masyarakat, dan pasien serta *helper* dalam sebuah kedaruratan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.8. Jaminan Mutu Kedaruratan

Berdasarkan *requirement* 26 dari poin 6.34-6.39 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan bagi PI untuk:

- Membuat program untuk memastikan ketersediaan dan keandalan semua persediaan, peralatan, sistem komunikasi dan fasilitas, rencana, prosedur dan pengaturan lainnya yang diperlukan untuk melakukan fungsi pada saat kedaruratan nuklir atau radiologi.
- Membuat dan memelihara rekaman yang memadai sehubungan dengan pengaturan kedaruratan dan respons terhadap keadaan darurat nuklir atau radiologi.
- Membuat pengaturan untuk meninjau dan mengevaluasi tanggapan dalam kejadian aktual dan dalam latihan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan bagi manajemen internal pemegang izin.

### 3.3.9. Mitigasi Konsekuensi Non-radiologi

Berdasarkan *requirement* 16 dari poin 5.89-5.92 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan mengenai konsekuensi non-radiologis keadaan darurat nuklir atau radiologis

dan tanggap darurat harus dipertimbangkan dalam menentukan tindakan protektif dan tindakan respons lainnya.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.10. Pengambilan Tindakan Proteksi Awal (*Early Protective Actions*) dan tindakan respons lain

Berdasarkan *requirement* 14 dari poin 5.76-5.83 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Relokasi yang efektif yang mungkin diperlukan setelah pelepasan radioaktif yang signifikan dan untuk pencegahan konsumsi yang tidak disengaja, sesuai dengan strategi proteksi.
- Untuk keadaan darurat transnasional di kategori IV, pengaturan harus dilakukan untuk mengambil tindakan perlindungan awal dan tindakan respons lainnya yang sesuai untuk area di luar kategori V.

Ketentuan ini dapat dimasukkan dalam level peraturan pemerintah karena adanya keterlibatan *stakeholder* lain selain pemegang izin.

### 3.3.11. Proteksi Terhadap Pekerja Kedaruratan dan *Helper*

Berdasarkan *requirement* 11 dari poin 5.49-5.61 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan untuk:

- Memastikan bahwa pekerja kedaruratan, sejauh memungkinkan, ditunjuk sebelumnya dan sesuai dengan tugas yang dimaksud.
- Melindungi pekerja kedaruratan dan perlindungan bagi *helper* dalam keadaan darurat untuk berbagai kondisi berbahaya yang diantisipasi di mana mereka mungkin harus melakukan fungsi respons.
- Memastikan bahwa semua cara praktis digunakan untuk meminimalkan paparan pekerja kedaruratan dan *helper* dalam keadaan darurat dalam menanggapi keadaan darurat nuklir atau radiologi dan untuk mengoptimalkan perlindungan mereka.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.12. Penghentian Kedaruratan Nuklir Atau Radiologi

Berdasarkan *requirement* 18 dari poin 5.95-5.101 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya pengaturan bagi PI untuk:

- Membuat pengaturan tentang detail teknis penghentian kedaruratan nuklir atau radiologi dengan pertimbangan kebutuhan untuk memulai kembali kegiatan sosial dan ekonomi.
- Melakukan proses formal dan konsultasi dengan pihak yang berwenang dalam melakukan penilaian tentang tindakan proyeksi dan tindakan respon lainnya dan pengaturan lainnya yang mendukung penghentian sebuah kedaruratan.
- Membuat pengaturan terkait komunikasi dengan masyarakat pada kedaruratan nuklir atau radiologi.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.3.13. Analisis Kedaruratan Nuklir Atau Radiologi dan Respons Kedaruratan Nuklir

Berdasarkan *requirement* 19 dari poin 5.102-5.105 dokumen *GSR Part 7* direkomendasikan adanya ketentuan bagi PI untuk melakukan analisis terhadap kedaruratan nuklir atau radiologi serta respon kedaruratan yang telah terjadi.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

## 3.4. Ketentuan Baru Menyangkut Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir dalam pengangkutan Zat Radioaktif [8]

### 3.4.1. Kesiapsiagaan dan Rencana Kedaruratan

Berdasarkan paragraf 4.4 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Pengirim dan pengangkut harus mempunyai program kesiapsiagaan nuklir dan prosedur kesiapsiagaan yang memadai.
- Program kesiapsiagaan harus dibuat oleh pemerintah lokal, daerah, dan nasional.

Ketentuan ini dapat dimasukkan dalam level peraturan pemerintah karena adanya keterlibatan *stakeholder* lain selain pemegang izin.

### 3.4.2. Kerangka untuk Perencanaan dan Persiapan Respons untuk Kecelakaan Pengangkutan Zat Radioaktif

Berdasarkan paragraf 2.4 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya ketentuan bagi pemegang izin untuk memberikan informasi, instruksi, dan pelatihan kepada pekerja yang mungkin terlibat dalam program kedaruratan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.4.3. Tanggungjawab Tim Proteksi Radiasi

Berdasarkan paragraf 3.16-3.19 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya ketentuan bahwa tim proteksi radiasi yang terlibat dalam pengangkutan zat radioaktif adalah anggota tim dari bagian program kedaruratan pemerintah.

Ketentuan ini dapat dimasukkan dalam level peraturan pemerintah karena adanya keterlibatan *stakeholder* lain selain pemegang izin.

### 3.4.4. Tanggungjawab Pengirim dan Pengangkut

Berdasarkan paragraf 3.2-3.15 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Tanggung jawab utama untuk memastikan kesiapsiagaan dalam pengiriman zat radioaktif berada di tangan pengirim.
- Pengirim harus memastikan bahwa sebelum melaksanakan pengangkutan, pengangkut mengetahui prosedur yang harus diikuti dalam kejadian kecelakaan pengangkutan.
- Pengangkut harus diminta memberitahu polisi (atau organisasi kedaruratan lain yang berwenang), pengirim, dan pihak lain yang terkait segera setelah terjadi kecelakaan, bila mereka mampu melakukan penanggulangan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.4.5. Pelatihan Tanggap Darurat Pengangkutan Zat Radioaktif

Berdasarkan paragraf 5.74-5.86 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Pengirim dan pengangkut yang terlibat dalam pengangkutan ZRA harus menyediakan pendidikan yang terkait dengan instruksi kedaruratan dan potensi bahaya dari jenis material yang diangkut.
- Gladi dan pelatihan harus menggunakan instrumen pengukur

radiologi terhadap bungkus material radioaktif untuk memastikan kecukupan prosedur pengkajian kecelakaan.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.4.6. Tanggungjawab untuk Notifikasi dan Komunikasi

Berdasarkan paragraf 3.6-3.7 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan bagi pemegang izin untuk memastikan kesesuaian dan kelengkapan personil yang bertugas di fasilitas komunikasi dan untuk tetap menjaga kompetensinya.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.4.7. Reviu Rencana Kedaruratan Pengangkutan

Berdasarkan paragraf 5.89-5.91 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Kewajiban pemegang izin untuk menugaskan personil yang bertanggungjawab untuk mereview, menjaga, dan memperbaharui program tersebut.
- Kewajiban pemegang izin untuk memastikan bahwa program kedaruratan pengangkutan diperbaiki dengan memperhatikan hasil pelaksanaan gladi, pelatihan, dan kedaruratan yang pernah terjadi.
- Kewajiban pemegang izin untuk memperbaharui informasi tentang nama dan nomor telepon dalam hal terjadi pergantian personil atau organisasi yang terkait.
- Personil yang bertugas mereview dan menjaga program kedaruratan harus dilibatkan sebagai peninjau (*observer*) dalam pelatihan yang dilakukan agar dapat memberikan umpan balik dalam perbaikan program kedaruratan.
- Kewajiban pemegang izin untuk mereview dan memperbaharui program kedaruratan minimal satu kali dalam satu tahun.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

### 3.4.8. Informasi dan Komunikasi kepada Publik

Berdasarkan paragraf 5.92-5.94 dokumen TS-G-1.2 direkomendasikan adanya pengaturan mengenai:

- Kewajiban pemegang izin untuk memberikan berita yang akurat kepada

media massa dan masyarakat tentang situasi, tindakan yang dilakukan, dan tindakan proteksi yang direkomendasikan.

- Kewajiban pemegang izin untuk menyediakan personil yang memiliki kompetensi kehumasan untuk mengurangi resiko terjadinya pemberian informasi yang tidak akurat ke media massa.

Ketentuan ini dapat dimasukkan pada level perka karena lebih bersifat teknis pengaturan di lapangan bagi pemegang izin.

*Nuclear or Radiological Emergency*, IAEA GSR Part-7, Vienna (2015)

- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accidents Involving Radioactive Material*, IAEA TS-G-1.2 (ST-3), Vienna (2002).

### III. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil kajian ini adalah:

1. Terdapat beberapa hal yang harus disempurnakan dan diperbaiki dalam peraturan kepala BAPETEN terkait kesiapsiagaan nuklir dan penanggulangan kedaruratan nuklir sebagaimana yang tertuang dalam Bab III, termasuk rekomendasi dan penempatan rekomendasi tersebut dalam hierarki peraturan perundang-undangan baik itu level Perka BAPETEN ataupun level Peraturan Pemerintah.
2. Sebagai konsideran menimbang menggunakan amanah pasal dari PP. No. 58 Tahun 2015, PP No. 2 Tahun 2014, PP 54 Tahun 2012, PP No. 29 Tahun 2008 dan PP 33 Tahun 2007.
3. *GSR Part 7* dapat dipergunakan sebagai acuan dalam rencana perbaikan dan penyempurnaan Perka BAPETEN ini dan untuk terkait dengan KPKN dalam pengangkutan zat radioaktif dapat menggunakan dokumen GSG 2, GS-G-2.1 dan TS-G-1.2 dengan tetap mempertimbangkan kemampooterapan dan kearifan lokal di Indonesia.
4. Poin-poin terkait KPKN dalam pengangkutan zat radioaktif dapat dimasukkan dalam bagian unsur infrastruktur maupun fungsi penanggulangan atau dapat juga dibuat sebagai bab terpisah pada perbaikan Perka BAPETEN ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah No. 58 Tahun 2015, *Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif*, Jakarta (2015)
- [2] Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014, *Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*, Jakarta (2014)
- [3] Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012, *Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*, Jakarta (2012)
- [4] Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008, *Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*, Jakarta (2008)
- [5] Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007, *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta (2007)
- [6] Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010, *Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir*, Jakarta, (2010)
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Preparedness and Response for a*



## **TELAAH PERATURAN KEPALA BAPETEN NO.1 TAHUN 2010 TERHADAP PERSYARATAN IAEA SAFETY STANDARD SERIES NO. GSR PART 7**

**Dewi Apriliani**

*Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: d.apriliani@bapeten.go.id

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan telaah Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir, terhadap persyaratan IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7: *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*. Telaah bertujuan untuk mengidentifikasi kesesuaian/ perbedaan pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi antara Peraturan Kepala BAPETEN No.1 tahun 2010 terhadap IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7, dan menganalisis perbedaan yang ada untuk selanjutnya dilakukan identifikasi perbaikan yang diperlukan agar sejalan dengan ketentuan internasional yang berlaku. Hasil telaah mengidentifikasi 6 (enam) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 telah diatur dengan cukup komprehensif, 11 (sebelas) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 perlu disesuaikan dengan pengaturan yang telah ada dan 8 (delapan) Persyaratan di IAEA No. GSR part 7 yang perlu di tambahkan untuk diatur di dalam Peraturan Kepala BAPETEN.

**Kata kunci:** kesiapsiagaan, penanggulangan, kedaruratan.

### **ABSTRACT**

*A study on the compatibility and difference of the emergency preparedness and response arrangements between BAPETEN Chairman Decree No. 1 Year 2010: Nuclear Emergency Preparedness and Response, againsts the IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7: Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency has been conducted. The aims of the study are to analyse the difference and to identify any improvement needed in order to be in line with the international concensus. The study has identified 6 (six) IAEA No. GSR part 7 requirements which have been comprehensively regulated in the BAPETEN Chairman Decree, 11 (eleven) IAEA No. GSR part 7 requirements which are need to be improved in the established BAPETEN Chairman Decree, and 8 (eight) IAEA No. GSR part 7 requirements which are need to be added in the established BAPETEN Chairman Decree.*

**Keywords:** preparedness, response, emergency.

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Peraturan Kepala BAPETEN No.1 tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir mengatur tentang bagaimana pemegang ijin, khususnya instalasi nuklir, menyusun program kesiapsiagaan nuklir pada masa kesiapsiagaan untuk memberikan jaminan keselamatan bagi personil di instalasi dan juga masyarakat terdampak di sekitar instalasi pada masa kedaruratan nuklir. Namun demikian, di dalam batang tubuhnya, Peraturan ini juga menjelaskan pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan untuk fasilitas/ praktik yang memanfaatkan sumber radioaktif. Peraturan Kepala BAPETEN ini disusun dengan mengacu kepada IAEA Safety Requirement No. GSR-2, *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*, yang dipublikasi pada tahun 2002

Mengikuti perkembangan zaman, pada tahun 2011, Sekretariat IAEA, organisasi internasional terkait dan negara-negara anggota IAEA melakukan reviu terhadap IAEA No. GSR-2. Reviu dilakukan berdasarkan pembelajaran yang didapat dari latihan kedaruratan yang telah dilakukan, tanggap darurat

nuklir/radiologi yang telah dilakukan sejak tahun 2002 (termasuk tanggap darurat terhadap kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima Daiichi, Jepang, pada bulan Maret 2011) dan juga pertimbangan terhadap rekomendasi terbaru *International Commission on Radiological Protection (ICRP)*. Dokumen revisi dari *IAEA Safety Requirement No. GSR-2* selanjutnya dipublikasi sebagai *IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7*.

Sejalan dengan perubahan tersebut, maka dirasa perlu untuk melakukan telaah terhadap Peraturan Kepala BAPETEN No.1 tahun 2010. Hal ini untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian/ perbedaan terhadap konsep dan terminologi pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi, khususnya di tingkat fasilitas. Hasil telaah memberikan identifikasi terhadap kesesuaian/ perbedaan yang ada dan identifikasi kriteria terbaru yang disyaratkan di dalam pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi.

### **1.2 Tujuan:**

- Mengidentifikasi kesesuaian/ perbedaan pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi

di antara Peraturan Kepala BAPETEN No.1 tahun 2010 dengan *IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7*; dan

- Menganalisis perbedaan yang ada dan mengidentifikasi perbaikan yang diperlukan agar sejalan dengan ketentuan internasional yang berlaku.

### 1.3 Ruang lingkup bahasan

- Pembahasan Peraturan Kepala BAPETEN No.1 tahun 2010;
- Pembahasan Konsep dan terminologi baru *IAEA Safety Standard Series No. GSR part 7*; dan
- Analisa kesenjangan.

## II. LANDASAN TEORI

Konvensi internasional yang secara khusus membahas kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, yaitu:

- The Convention on Early Notification of a Nuclear Accident (“Early Notification Convention”); dan
- The Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency (“Assistance Convention”).

Kedua Konvensi tersebut telah diratifikasi oleh pemerintah Republik Indonesia sebagai:

- Keputusan Presiden No. 81 Tahun 1993 Tentang: Pengesahan Convention On Early Notification Of A Nuclear Accident; dan
- Keputusan Presiden No. 82 Tahun 1993 Tentang: Pengesahan Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency

Konvensi internasional lainnya yang mensyaratkan pengaturan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, yaitu:

- The Convention on Nuclear Safety (Article 16); dan
- The Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management (Article 25).

Konvensi tersebut juga telah diratifikasi oleh pemerintah Republik Indonesia sebagai:

- Keputusan Presiden No. 106 Tahun 2001 Tentang: Pengesahan Convention on Nuclear Safety; dan
- Keputusan Presiden No. 84 Tahun 2010 Tentang: Pengesahan Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management.

Berdasarkan Konvensi di atas Sekretariat IAEA menyusun *Safety Standard Series* di bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi untuk dapat digunakan oleh negara-negara anggota IAEA di dalam menyusun peraturan yang terkait dengan kesiapsiagaan dan penanggulangan

kekurangan nuklir/ radiologi. Berikut adalah *IAEA Safety Standard Series* di bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi:

- *Safety Fundamental*, IAEA No. SF-1 (2006), Prinsip ke 9: Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan;
- *Safety Requirement*, IAEA No. GSR-2 (2002): *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency* direvisi menjadi IAEA No. GSR part 7 (2015): *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*; dan
- *Safety Guidance*, terdapat beberapa *Safety Guidance* di bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi, yaitu:
  - IAEA No. TSG-1.2 (2002): *Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accident Involving Radioactive Materials*;
  - IAEA No. GSG-2.1 (2007): *Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency*; dan
  - IAEA No. GSG-2 (2012): *Criteria for Use in Preparedness and Response for Nuclear or Radiological Emergency*.

Selain *Safety Standard Series*, Sekretariat IAEA juga menyusun dokumen teknis di bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi yang disebut *EPR Series Publication*. Berbagai koleksi *EPR Safety Series Publication* dapat dilihat di alamat website <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/technicalproducts>.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010

Secara umum Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 mengatur tentang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir untuk pemegang ijin. Program kesiapsiagaan yang handal, sesuai kategori bahaya instalasi/ fasilitas/ praktik, harus disusun oleh pemegang ijin pada tahap kesiapsiagaan agar mampu tercap pada masa kedaruratan. Program kesiapsiagaan tersebut terdiri dari 2 (dua) unsur, yaitu:

1. unsur infrastruktur (organisasi, koordinasi, fasilitas dan peralatan, prosedur penanggulangan, dan pelatihan/ gladi kedaruratan nuklir); dan
2. unsur fungsi penanggulangan (identifikasi, pelaporan dan pengaktifan; tindakan mitigasi; tindakan perlindungan segera; tindakan perlindungan untuk petugas penanggulangan, pekerja dan masyarakat; dan pemberian informasi dan instruksi kepada masyarakat).

Peraturan ini mengatur 5 (lima) unsur infrastruktur dan 5 (lima) unsur fungsi penanggulangan yang dipersyaratkan di dalam menyusun program kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir untuk instalasi/ fasilitas/ praktik yang memanfaatkan

tenaga nuklir. Peraturan ini disusun dengan mengacu kepada IAEA No. GSR-2.

### 3.2. IAEA Safety Standard Series No. GSR Part 7

*Safety Standard Series* senantiasa direviu dan direvisi sesuai dengan kondisi dan teknologi terkini. Pembelajaran dari kecelakaan nuklir di Fukushima, Jepang, akibat gempa bumi dahsyat dan tsunami pada 11 Maret 2011 juga direfleksikan di dalam revisi dokumen-dokumen IAEA *Safety Standard Series* yang disusun setelah tahun 2011. Terkait kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi, IAEA telah mempublikasi *Safety Requirement* terbaru, yaitu IAEA No. GSR part 7, pada bulan November 2015 menggantikan *Safety Requirement* sebelumnya, yaitu IAEA No. GSR-2.

IAEA No. GSR part 7 memperkuat persyaratan kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi dengan menambahkan beberapa persyaratan, seperti: sistem manajemen kedaruratan, strategi proteksi kedaruratan nuklir/ radiologi, pengaturan kedaruratan untuk menghadapi serangkaian kondisi bahaya, proteksi bagi pekerja kedaruratan dan *helper*, terminasi kedaruratan, dan bantuan serta kerjasama internasional untuk kedaruratan lintas batas negara.

Secara umum persyaratan yang mengatur kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi terdiri dari:

1. persyaratan umum (sistem manajemen kedaruratan; tugas dan tanggung jawab; tanggung jawab organisasi internasional; pengkajian bahaya; strategi proteksi pada saat kedaruratan nuklir/ radiologi);
2. persyaratan fungsional (manajemen operasi tanggap darurat; identifikasi, notifikasi dan aktivasi; tindakan mitigasi; tindakan perlindungan mendesak; pemberian informasi, instruksi dan peringatan kepada masyarakat;

proteksi pekerja kedaruratan dan *helper*; manajemen medis selama kedaruratan; komunikasi publik; tindakan perlindungan dini; manajemen limbah radioaktif; mitigasi dampak non-radiologi; bantuan internasional; terminasi kedaruratan; analisa kedaruratan dan tanggap darurat); dan

3. persyaratan infrastruktur (kewenangan; organisasi dan *staffing*; koordinasi; rencana dan prosedur penanggulangan; fasilitas dan peralatan; pelatihan/ gladi kedaruratan nuklir; dan program manajemen mutu)

*Safety Requirement* ini mengatur 5 (lima) persyaratan umum, 14 (empat belas) persyaratan fungsional dan 7 (tujuh) persyaratan infrastruktur terkait kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi. Selanjutnya setiap negara perlu mereviu peraturan dan pedoman terkait kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi di negara masing-masing agar sejalan dan harmonis dengan konsensus internasional yang berlaku.

### 3.3. Analisa Kesenjangan

Analisa kesenjangan dilakukan dengan melakukan telaah terhadap persyaratan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 dibandingkan dengan persyaratan terbaru di IAEA No. GSR part 7. Persyaratan di IAEA No. GSR part 7 berlaku umum untuk semua tingkat mulai dari tingkat fasilitas/ pemegang izin, tingkat lokal sampai dengan tingkat nasional. Karena Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 hanya berlaku untuk pemegang izin maka telaah yang dilakukan dibatasi pada tingkat pemegang izin/ fasilitas. Tabel 1 memberikan analisa kesenjangan yang merupakan hasil telaah dimaksud.

**Tabel 1.** Analisa kesenjangan Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 terhadap persyaratan IAEA No. GSR part 7

Persyaratan	Perka BAPETEN No. 1/ 2010	Keterangan
1. Sistem manajemen kedaruratan	-	Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7 yang tidak ada di IAEA No. GSR-2.  Pada tingkat fasilitas, sistem manajemen kedaruratan mengatur bahwa manajemen penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi harus terintegrasi dengan manajemen semua bahaya yang mungkin terjadi di fasilitas, baik bahaya konvensional, kimiawi, biologi, maupun nuklir/ radiologi.  Sistem manajemen kedaruratan di tingkat fasilitas juga harus terintegrasi dengan sistem manajemen kedaruratan di tingkat lokal (seperti dengan layanan tanggap darurat, pemadam kebakaran, ambulan gawat darurat dan kepolisian, serta BPBD) dan nasional (BNPB)).
2. Tugas dan tanggung jawab	Ps. 14 (1, 2) Ps. 10 (2) Ps. 11 (1, 2)	Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah membahas dengan komprehensif tugas dan tanggung jawab pemegang izin.

	Ps. 12 (3) Ps. 13 (1, 2) Ps. 11 (2)	
3. Tanggung jawab organisasi internasional	Tidak relevan	Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7 yang tidak ada di IAEA No. GSR-2 dan hanya berlaku untuk organisasi internasional.
4. Pengkajian bahaya	Ps. 4 Ps. 6 Lampiran 1 & 2 Anak lampiran 1	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah membahas tentang pengaturan pengkajian bahaya di fasilitas, akan tetapi perlu memasukkan pertimbangan lain sebagaimana di jelaskan di dalam IAEA No. GSR part 7, yaitu harus mempertimbangkan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kejadian yang probabilitasnya sangat kecil;</li> <li>• kejadian yang merupakan kombinasi dari kedaruratan konvensional dan kedaruratan nuklir/ radiologi;</li> <li>• hasil dari kajian ancaman keamanan nuklir fasilitas;</li> <li>• bahaya non-radiologi (seperti kebakaran, ledakan, dan lain-lain) yang mungkin mempengaruhi keefektifan tanggap darurat; dan</li> <li>• ketidakpastian dan keterbatasan tersedianya informasi selama kedaruratan dalam menentukan tindakan perlindungan mendesak, tindakan perlindungan dini dan proteksi pekerja kedaruratan yang diperlukan.</li> </ul> <p>Pemegang izin yang melakukan pengangkutan zat radioaktif/ bahan nuklir, juga harus melakukan pengkajian bahaya tergantung dengan zat radioaktif/ bahan nuklir yang diangkut. Hal ini belum di atur di Peraturan Kepala BAPETEN No. 1/2010.</p> <p>Tabel kategori bahaya radiologi dan zona kedaruratan dan jarak kedaruratan (untuk kedaruratan yang berasal dari fasilitas nuklir) perlu disesuaikan dengan ketentuan IAEA No. GSR part 7.</p>
5. Strategi proteksi	Ps. 28	<p>Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7 yang tidak ada di IAEA No. GSR-2. Perka BAPETEN No. 1/2010 belum mengatur bagaimana strategi proteksi dikembangkan, dijustifikasi dan dioptimasi selama kedaruratan.</p> <p>Untuk tingkat fasilitas strategi proteksi mengatur berapa nilai <i>reference level</i>, <i>generic criteria</i> dan <i>Operation Intervention Levels</i> (OILs) yang ditetapkan fasilitas, sesuai dengan ketentuan nasional dan/ atau internasional yang berlaku. Berdasarkan nilai yang telah ditetapkan tersebut, fasilitas bertanggung jawab untuk mengembangkan <i>Emergency Action Levels</i> (EALs), sesuai karakteristik fasilitasnya masing-masing, agar bisa melakukan deteksi, identifikasi, klasifikasi dan deklarasi kedaruratan.</p> <p>Di tingkat fasilitas strategi proteksi diterapkan melalui pengaturan:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a) kapan tindakan perlindungan mendesak diambil untuk meminimalkan efek deterministik parah, berdasarkan EALs yang ditentukan dan sebelum terjadinya lepasan;</li> <li>b) kapan tindakan perlindungan dini diambil untuk mengurangi efek stokastik;</li> <li>c) bagaimana registrasi pekerja, pemantauan kesehatan dan tindak lanjut medis dilakukan selama kedaruratan;</li> <li>d) bagaimana proteksi untuk pekerja kedaruratan dilakukan;</li> <li>e) bagaimana mitigasi terhadap dampak non-radiologi dilakukan;</li> <li>f) bagaimana menilai keefektifan tindakan yang telah dilakukan berdasarkan kondisi dan informasi terkini serta</li> </ol>

		<p>dosis residual yang diterima;</p> <p>g) bagaimana merevisi strategi proteksi, jika diperlukan; dan</p> <p>h) bagaimana menghentikan tindakan perlindungan apabila tidak terjustifikasi lagi untuk dilakukan.</p>
6. Manajemen operasi tanggap darurat	-	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 belum mengatur manajemen operasi tanggap darurat.</p> <p>Untuk tingkat fasilitas, manajemen operasi tanggap darurat mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kapan tim tanggap darurat fasilitas diaktifkan dan bagaimana interaksinya dengan tim layanan tanggap darurat lokal (pemadam kebakaran, ambulans gawat darurat dan kepolisian wilayah);</li> <li>• bagaimana menjaga sistem keamanan nuklir tetap berfungsi selama kegiatan tanggap darurat;</li> <li>• bagaimana kegiatan tanggap darurat fasilitas terintegrasi dan terkoordinasi dengan kegiatan tanggap darurat di tingkat daerah dan/ atau nasional;</li> <li>• Bagaimana sistem komando tanggap darurat nuklir/ radiologi sebagai bagian dari sistem manajemen kedaruratan untuk semua bahaya di fasilitas; dan.</li> <li>• bagaimana mendapatkan informasi untuk pengambilan keputusan terkait alokasi SDM.</li> </ul>
7. Identifikasi, notifikasi dan aktivasi	<p>Ps. 8 (3)</p> <p>Ps. 25</p> <p>Ps. 30 (1,2)</p> <p>Ps. 31 (1,2)</p> <p>Ps. 32 (1,2,3)</p> <p>Ps. 33 (1,2)</p> <p>Lampiran 4</p>	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah menjelaskan klasifikasi, notifikasi dan aktivasi kedaruratan. Namun demikian, klasifikasi kedaruratan perlu disesuaikan dengan klasifikasi kedaruratan terbaru di IAEA No. GSR part 7, yang mengklasifikasi kedaruratan menjadi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- kedaruratan umum;</li> <li>- kedaruratan area tapak;</li> <li>- kedaruratan fasilitas;</li> <li>- waspada; dan</li> <li>- kedaruratan nuklir/ radiologi lain (yaitu kedaruratan yang dapat terjadi dimana saja di luar tapak, yang berasal dari praktik dengan kategori bahaya radiologi IV, misalnya kecelakaan pengangkutan zat radioaktif).</li> </ul> <p>Untuk tingkat fasilitas identifikasi kedaruratan mengacu kepada EALs yang ditetapkan oleh fasilitas.</p>
8. Tindakan mitigasi	<p>Ps. 17 (2)</p> <p>Ps. 25</p> <p>Ps. 34 (1,2)</p> <p>Ps. 35 (1,2)</p> <p>Ps. 36 (1,2,3)</p> <p>Ps. 37 (1,2)</p> <p>Ps. 42 (2)</p>	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah menjelaskan tindakan mitigasi dengan komprehensif, yang tersebar di beberapa pasal.</p>
9. Tindakan perlindungan mendesak	<p>Ps. 7</p> <p>Ps. 14 (2)</p> <p>Ps. 19</p> <p>Ps. 25</p> <p>Ps. 38 (1,2,3)</p> <p>Ps. 39 (1, 2)</p> <p>Lamp. 2</p>	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah memberikan pengaturan tindakan perlindungan mendesak dengan komprehensif. Zona kedaruratan dan jarak kedaruratan untuk setiap kategori bahaya radiologi perlu disesuaikan dengan ketentuan terbaru di dalam IAEA No. GSR part 7.</p>
10. Pemberian informasi, instruksi dan peringatan kepada masyarakat	<p>Ps. 11 (2, 3)</p> <p>Ps. 25</p> <p>Ps. 47</p>	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah mengatur ketentuan untuk memberikan informasi, instruksi dan peringatan kepada masyarakat pada saat kedaruratan untuk fasilitas yang termasuk ke dalam kategori bahaya radiologi I dan II. Namun demikian perlu ditambahkan pengaturan bahwa pada masa kesiapsiagaan, fasilitas tersebut harus memberikan informasi mengenai fasilitas dan risikonya kepada masyarakat yang berada di zona kedaruratan dan jarak kedaruratan fasilitas.</p>

11. Proteksi pekerja kedaruratan dan <i>helper</i>	Ps. 14 (2) Ps. 17 (2) Ps. 25 Ps. 41 Ps. 43 Ps. 44 Ps. 45 (1,2,3) Ps. 42 (1) Ps. 46 (1,2) Lamp. 5	Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah mengatur dengan komprehensif proteksi untuk pekerja kedaruratan yang tersebar di beberapa pasal. Akan tetapi, belum menjelaskan proteksi untuk <i>helper</i> karena ini adalah konsep dan terminologi baru yang ada di IAEA No. GSR part 7.  Dosis panduan bagi petugas penanggulangan perlu disesuaikan dengan dosis panduan terbaru yang ada di IAEA No. GSR part 7.
12. Manajemen medis selama kedaruratan	Ps. 17 (2)	Perka BAPETEN No. 1/2010 sedikit membahas topik ini sebagai bagian dari peralatan dan fasilitas (unsur infrastruktur).  Di tingkat fasilitas manajemen medis selama kedaruratan mengatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kemampuan pemberian pertolongan pertama korban oleh tim medis fasilitas;</li> <li>• Tata cara pengiriman korban tanpa kontaminasi ke fasilitas kesehatan; dan</li> <li>• Tata cara pengiriman korban terkontaminasi ke rumah sakit rujukan.</li> </ul>
13. Komunikasi publik	Ps. 48	Perka BAPETEN No. 1/2010 sudah mengatur topik ini. Namun demikian untuk tingkat fasilitas perlu menjelaskan alur koordinasi komunikasi publik selama kedaruratan di antara fasilitas/ Pemegang Ijin, otoritas daerah dan nasional.
14. Tindakan perlindungan dini	Ps. 14 (2) Ps. 17 (2) Ps. 25	Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7. Perka BAPETEN No. 1/2010 sedikit mengatur hal ini, yaitu hanya mengatur terkait survei monitoring dan tindakan dekontaminasi.  Di tingkat fasilitas tindakan perlindungan dini mengatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kriteria kapan relokasi dan pelarangan jangka panjang makanan yang berpotensi terkontaminasi dilakukan;</li> <li>• survey monitoring daerah yang diduga terkontaminasi;</li> <li>• pengendalian bahan pangan dan air untuk daerah yang diduga terkontaminasi;</li> <li>• pengendalian penyebaran kontaminasi dengan terus memantau tingkat kontaminasi orang, kendaraan dan peralatan sebelum meninggalkan lokasi kecelakaan;</li> <li>• metode dekontaminasi yang digunakan; dan</li> <li>• kajian dosis terhadap masyarakat disekitar lokasi kecelakaan.</li> </ul>
15. Manajemen limbah radioaktif	Ps. 17 (2) Ps. 25	Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7. Perka BAPETEN No. 1/2010 mengatur persyaratan ini sebagai bagian dari peralatan dan prosedur yang harus tersedia untuk penanganan limbah yang dihasilkan dari kegiatan tanggap darurat.  Di tingkat fasilitas manajemen limbah radioaktif mengatur kriteria limbah radioaktif, karakterisasi limbah radioaktif, dan penanganan limbah radioaktif sesuai dengan ketentuan peraturan perundangan yang berlaku.
16. Mitigasi dampak non-radiologi	-	Perka BAPETEN No. 1/2010 belum mengatur persyaratan ini.  Di tingkat fasilitas mitigasi dampak non-radiologi mengatur: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bagaimana penanganan dampak psikologi (seperti trauma personil fasilitas);</li> <li>• pemberian informasi kepada petugas kedaruratan terkait dampak kesehatan yang mungkin diterimanya dan instruksi yang jelas terkait tindakan yang harus dilakukan</li> </ul>

		<p>untuk memitigasi dampak non-radiologi; dan</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pemberian konseling medis dan psikologi untuk personil fasilitas.</li> </ul>
17. Bantuan internasional	-	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 belum mengatur persyaratan ini. Bantuan internasional adalah kewenangan tingkat nasional dan sudah dijelaskan di dalam Peraturan Pemerintah No. 54/2012.</p> <p>Namun demikian, fasilitas perlu mengidentifikasi kondisi apa yang menyebabkan fasilitas membutuhkan bantuan internasional dan bagaimana implementasinya jika diperlukan.</p>
18. Terminasi Kedaruratan	Ps. 25	<p>Ini adalah topik baru di IAEA No. GSR part 7. Perka BAPETEN No. 1/2010 sedikit mengatur topik ini sebagai bagian dari prosedur untuk mengakhiri kedaruratan.</p> <p>Di tingkat fasilitas terminasi kedaruratan mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kondisi dan kriteria yang digunakan fasilitas untuk mengakhiri kedaruratan; dan</li> <li>• bagaimana konsultasi dan koordinasi dilakukan dengan otoritas daerah/ nasional untuk terminasi kedaruratan.</li> </ul>
19. Analisa kedaruratan dan tanggap darurat	Ps. 25	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 sedikit mengatur topik ini sebagai bagian dari prosedur untuk evaluasi dan analisis penyebab kecelakaan.</p> <p>Di tingkat fasilitas analisa kedaruratan dan tanggap darurat mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pemeliharaan rekaman seperti data, rekaman dan buku kerja yang dibutuhkan untuk analisa kedaruratan dan bagaimana penanganannya; dan</li> <li>• ketentuan, tanggung jawab serta proses untuk melakukan analisa kedaruratan.</li> </ul>
20. Kewenangan	-	<p>Perka BAPETEN No. 1/2010 belum mengatur topik ini. Di tingkat fasilitas persyaratan ini menjelaskan kewenangan dan kewajiban fasilitas dalam kesiapsiagaan dan penanganan tanggap darurat berdasarkan peraturan perundangan yang berlaku.</p>
21. Organisasi dan <i>staffing</i>	Ps. 8 (2) Ps. 10 (1, 2) PS. 11 (1, 2) Ps. 13 (2)	<p>Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur persyaratan ini.</p> <p>Di tingkat fasilitas organisasi dan <i>staffing</i> mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• struktur organisasi/ tim tanggap darurat fasilitas yang ditetapkan berdasarkan hasil analisa fasilitas bahwa struktur tersebut menjamin dapat terpenuhinya semua fungsi penanggulangan dan tidak ada konflik tanggung jawab antara satu posisi dengan yang lainnya;</li> <li>• bagaimana analisa dilakukan untuk mengidentifikasi jumlah dan kualifikasi personil yang dibutuhkan untuk setiap posisi di dalam struktur organisasi/ tim tanggap darurat fasilitas; dan</li> <li>• sistem komando insiden yang digunakan fasilitas.</li> </ul>
22. Koordinasi	Ps. 8 (2) Ps. 15 (1, 2)	<p>Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur persyaratan ini.</p> <p>Di tingkat fasilitas koordinasi mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bagaimana koordinasi antara fasilitas dan otoritas daerah dilakukan, baik pada masa kesiapsiagaan maupun pada masa kedaruratan;</li> <li>• kerjasama antara fasilitas dengan layanan tanggap darurat lokal (misalnya dengan pemadam kebakaran, ambulans gawat darurat) yang dituangkan di dalam MoU atau perjanjian kerjasama; dan</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>bagaimana pertukaran informasi antara fasilitas dengan otoritas daerah dilakukan, misalnya informasi apa saja yang dapat diberikan kepada otoritas daerah, kapan dan bagaimana implementasinya.</li> </ul>
23. Rencana dan prosedur	Ps. 8 (2) Ps. 24 Ps. 25 Lamp. 3	<p>Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur persyaratan ini. Namun demikian, prosedur penanggulangan perlu disesuaikan dengan adanya penambahan persyaratan fungsiona di IAEA No. GSR part 7.</p> <p>Di tingkat fasilitas rencana dan prosedur mengatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>rencana kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi fasilitas yang berisi strategi apa saja yang harus disiapkan pada masa kesiapsiagaan (meliputi unsur umum, fungsional dan infrastruktur) dan apa saja yang harus dilakukan pada masa tanggap darurat;</li> <li>komitmen fasilitas untuk melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja dan masyarakat selama kedaruratan nuklir/ radiologi yang tertuang di dalam rencana kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan; dan</li> <li>serangkaian prosedur tanggap darurat fasilitas yang merupakan yang berisikan instruksi kerja bagi personil kedaruratan untuk melakukan fungsi tanggap darurat.</li> </ul>
24. Fasilitas dan peralatan	Ps. 8 (2) Ps. 16 (1, 2) Ps. 17 (1, 2) Ps. 18 (1, 2, 3) Ps. 19 Ps. 20 Ps. 21 PS. 22 Ps. 23 Ps. 24 (2, 3)	Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur dengan komprehensif persyaratan ini yang tersebar di dalam beberapa pasal.
25. Pelatihan/ gladi kedaruratan nuklir	Ps. 8 (2) Ps. 26 (1,2,3) Ps. 27 (1,2)	Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur dengan komprehensif persyaratan ini.
26. Program manajemen mutu	Ps. 5	<p>Perka BAPETEN No.1/ 2010 sudah mengatur bahwa program kesiapsiagaan nuklir harus ditinjau ulang secara berkala.</p> <p>Di tingkat fasilitas program manajemen mutu kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi merupakan bagian dari sistem manajemen mutu fasilitas, dan bahwa setiap ketidaksesuaian kondisi kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir/ radiologi diidentifikasi, ditelusur, direviu dan tindakan korektif dilakukan sesuai dengan program manajemen mutu fasilitas.</p>

Berdasarkan analisa di atas maka dapat dibuat pengelompokan sebagai berikut:

- 6 (enam) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 telah diatur dengan cukup komprehensif di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010, yaitu: tugas dan tanggung jawab, tindakan mitigasi; organisasi dan *staffing*; koordinasi; fasilitas dan peralatan; dan pelatihan/ gladi kedaruratan nuklir.
- 11 (sebelas) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 telah diatur di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 akan tetapi beberapa penyesuaian perlu dilakukan agar sejalan dengan konsep dan terminologi terkini, yaitu: pengkajian bahaya; identifikasi, notifikasi dan aktivasi; tindakan

- perlindungan mendesak; pemberian informasi, instruksi dan peringatan kepada masyarakat; manajemen medis selama kedaruratan; proteksi pekerja kedaruratan dan *helper*; komunikasi publik; manajemen limbah radioaktif; analisa kedaruratan dan tanggap darurat; rencana dan prosedur; dan program manajemen mutu.
- 8 (delapan) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 belum diatur di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010, yaitu: sistem manajemen kedaruratan; strategi proteksi; manajemen operasi tanggap darurat; tindakan perlindungan dini; mitigasi dampak non-radiologi; bantuan internasional; terminasi kedaruratan; dan kewenangan.

#### IV. KESIMPULAN

Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2010 tentang kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir disusun dengan mengacu kepada IAEA No. GSR-2. Sejalan dengan kondisi dan teknologi terkini, Safety Requirement ini telah direvisi menjadi IAEA No. GSR part 7. Seiring dengan perubahan tersebut maka Peraturan Kepala BAPETEN ini perlu direvisi dan dimutakhirkan, misalnya melalui revisi peraturan, agar sejalan dan harmonis dengan konsensus internasional yang berlaku.

Dari total 26 (dua puluh enam) Persyaratan IAEA No. GSR part 7, satu persyaratan tidak relevan untuk tingkat fasilitas, tulisan ini telah mengidentifikasi terdapat 11 (sebelas) Persyaratan IAEA No. GSR part 7 yang perlu disesuaikan dengan pengaturan yang telah ada dan 8 (delapan) Persyaratan di IAEA No. GSR part 7 yang perlu di tambahkan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Presiden No. 81 Tahun 1993 Tentang: Pengesahan *Convention On Early Notification Of A Nuclear Accident*.
- [2] Keputusan Presiden No. 82 Tahun 1993 Tentang: Pengesahan *Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency*.
- [3] Keputusan Presiden No. 106 Tahun 2001 Tentang: Pengesahan *Convention on Nuclear Safety*.
- [4] IAEA No. GSR-2, 2002, "Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency".
- [5] IAEA No. TSG-1.2, 2002, "Planning and Preparing for Emergency Response to Transport Accident Involving Radioactive Materials".
- [6] IAEA SF-1, 2006, "Safety Fundamental".
- [7] IAEA No. GSG-2.1, 2007, "Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency".
- [8] Keputusan Presiden No. 84 Tahun 2010 Tentang: Pengesahan *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management*.
- [9] Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir.
- [10] IAEA No. GSG-2, 2012, "Criteria for Use in Preparedness and Response for Nuclear or Radiological Emergency".
- [11] IAEA No. GSR part 7, 2015, "Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency".



# MAKALAH PENYAJI POSTER FRZR





## KAJIAN PENERIMAAN DOSIS RADIASI TAHUN 2014 - 2016 PEKERJA RADIASI BIDANG TEKNOLOGI RADIOFARMAKA PTRR BATAN

**Rr. Djarwanti RPS, Fath Priyadi, Didik Setiaji, Yono Sugiharto**

*Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN*

e-mail: pipin@batan.go.id dan rrdjarwantirahayups@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Resiko penerimaan dosis radiasi eksternal maupun internal diterima oleh semua pekerja radiasi PTRR, pada tiga tahun terakhir penerimaan dosis radiasi tertinggi diterima oleh pekerja radiasi bidang Radiofarmaka. Telah dilakukan kajian tentang penerimaan dosis radiasi dengan metoda penelusuran penerimaan dosis dalam kurun waktu 6 tahun dan melakukan kajian terhadap penyebab penerimaan dosis tersebut. Hasil dari evaluasi terhadap beban kerja, frekuensi pekerjaan dan riwayat pekerjaan menggambarkan bahwa keterbatasan personel dengan kompetensi khusus menyebabkan pekerja radiasi bekerja dengan frekuensi sering. Kondisi fasilitas kerja, paparan dan tingkat kontaminasi udara yang terkendali serta kedisiplinan pekerja radiasi memakai Alat Pelindung Diri dapat membatasi penerimaan dosis radiasi. Upaya mendidik pekerja radiasi dalam bidang Radiofarmaka dan rotasi pekerjaan menjadi kesimpulan dari kajian penerimaan dosis radiasi tertinggi pekerja radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka PTRR Batan.

**Kata Kunci :** Dosis radiasi, beban kerja, kontaminasi

### ABSTRACT

*The risk of external and internal radiation doses acceptance will be received by all radiation worker in PTRR. In the last three years of 2014 - 2016 the highest radiation dose acceptance have been received by radiation workers of Radiopharmaceuticals technology division. The highest radiation dose acceptance study was carried out using a dose-acceptance tracking method over a period of 6 years and assessed the cause of the dose. The results of the evaluation of the workload, frequency of the job and job history showed that the limitation of personnel with special competence caused the personnel to work frequently. Conditions of the facilities, controlled of the exposure and airborne contamination levels as well as the compliance of radiation workers wearing personal protective equipment may limit of the radiation dose acceptance and to be conclusion of study of the highest radiation dose acceptance of the radiation worker in Radiopharmaceuticals Technology division PTRR Batan.*

**Keywords :** Radiation dose, workload, contamination

## I. PENDAHULUAN

Pekerja radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka (TRF) di Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) BATAN bekerja di daerah radiasi dan kontaminasi. Pekerja radiasi pada bidang tersebut mempunyai resiko penerimaan dosis radiasi eksternal dan internal.

Pemilihan pekerja radiasi bidang Teknologi Radiofarmaka (TRF) untuk dijadikan objek kajian didasarkan fakta bahwa dosis radiasi total tertinggi di PTRR pada periode tahun 2014 - 2016 yang diterima oleh pekerja radiasi yang berasal dari Bidang TRF. Padahal pada tahun sebelumnya penerima dosis radiasi tertinggi adalah pekerja radiasi Bidang Teknologi Radioisotop (TRI). Kajian ini dilakukan untuk meninjau kembali prosedur kerja dan penataan kembali pembagian beban kerja pekerja radiasi bidang TRF. Makalah ini menyajikan hasil dari kajian penerimaan dosis radiasi total (eksterna dan interna) pekerja radiasi pada bidang TRF berdasarkan penerimaan dosis radiasi total tahun 2014 sampai 2016.

## II. POKOK BAHASAN

Berdasarkan potensi bahaya daerah kerja, maka tiap bidang di PTRR bekerja di daerah dengan potensi seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Tabel 1 memperlihatkan klasifikasi daerah kerja untuk tiap bidang di PTRR. Pekerja radiasi yang bekerja di bidang TRI, TRF, PFPR, UJM dan BKPL dipertimbangkan sebagai pekerja radiasi yang mungkin menerima dosis radiasi total lebih dari 1 mSv per tahun.

**Tabel 1 :** Potensi Bahaya Daerah Kerja tiap Bidang di PTRR tahun 2016

NO	Bidang	Jumlah (orang)	Paparan Radiasi	Tingkat Kontaminasi
1	Tata Usaha (TU)	28	Non radiasi	Bebas Kontaminasi
2	Teknologi Radioisotop (TRI)	31	Sedang -- Sangat Tinggi	Sedang - Sangat Tinggi
3	Teknologi Radiofarmaka (TRF)	29	Sedang -- Sangat Tinggi	Sedang - Tinggi
4	Pengelolaan Fasilitas Proses	20	Sedang -- Sangat Tinggi	Rendah - Sangat Tinggi

	Radioisotop (PFPR)			
5	Keselamatan dan Pengelolaan Limbah (BKPL)	10	Sedang -- Sangat Tinggi	Rendah -- Sangat Tinggi
6	Unit Jaminan Mutu (UJM)	2	Non radiasi -- Rendah	Bebas Kontaminasi
	Jumlah	120		

Jika diperhatikan penerimaan dosis radiasi maximum selama periode 6 tahun dari tahun 2011 - 2016 maka terlihat (Tabel 2) bahwa penerimaan dosis radiasi maximum tahun 2014 sampai 2016 diterima oleh pekerja radiasi bidang Teknologi Radiofarmaka (TRF). Sedangkan tahun 2011 sampai 2013 penerimaan dosis radiasi maximum diterima oleh pekerja radiasi bidang Teknologi Radioisotop (TRI). Oleh karena itu hal ini menarik untuk dikaji.

**Tabel 2.** Nilai Dosis Radiasi Total Maksimum Tiap Bidang Di PTRR Periode 2011 - 2016

Bidang	Dosis Radiasi Total Maximum (mSv)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
TRI	5,33	4,86	6,92	1,79	2,98	2,82
TRF	2,41	3,34	4,06	9,46	4,99	9,64
PFPR	0,19	0,22	0,19	0,16	0,19	0,09
UJM	0,68	1,29	0,94	0,56	0,09	0,11
BKPL	1,33	2,06	0,99	0,48	0,73	0,31

### III. METODE

Bahan yang digunakan dalam penyusunan makalah ini adalah data penerimaan dosis radiasi eksterna dan interna pekerja radiasi bidang TRF - PTRR tahun 2014, 2015 dan 2016. Kajian terhadap penerimaan dosis radiasi tersebut akan dibandingkan terhadap nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan BAPETEN seperti tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir dan Nilai Pembatas Dosis (*dose constrain*) tahun 2016 yang ditetapkan Pemegang Ijin (PI). Data dosis maximum akan dibandingkan dengan penerimaan dosis radiasi rata-rata pada bidang TRF kemudian dilakukan kajian terhadap beban kerja, frekuensi pekerjaan dan ketersediaan sumber daya manusia (SDM) pada bidang TRF.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memperoleh gambaran penerimaan dosis maximum pada bidang TRF PTRR maka pada Tabel 3 dicantumkan penerimaan dosis radiasi tiap pekerja radiasi (tanpa menyebut nama) Bidang TRF PTRR tahun 2014-2016.

**Tabel 3.** Akumulasi Penerimaan Dosis Radiasi Pekerja Radiasi Bidang TRF -PTRR

NO	Penerimaan Dosis mSv			KETERANGAN
	2014	2015	2016	
1	0,00	0,03	0,00	Dosis rata-rata tahun 2014 =
2	0,38	0,40	1,84	0,80 mSv
3	0,60	0,40	0,26	Dosis rata-rata tahun 2015 =
4	0,65	0,74	0,39	
5	0,69	0,63	1,16	

6	0,74	0,95	1,84	0,57 mSv Dosis rata-rata tahun 2016 = 1,07 mSv  Pada tabel ini hanya dicantumkan nomor urut, nama pekerja radiasi tidak dicantumkan untuk maksud informasi terbatas.
7	0,38	0,25	0,00	
8	3,80	2,49	1,99	
9	0,14	0,31	0,00	
10	0,14	0,35	0,00	
11	0,62	0,06	0,00	
12	0,59	0,05	0,00	
13	0,61	1,04	1,26	
14	0,14	0,53	0,04	
15	0,13	0,28	0,03	
16	0,00	0,11	0,05	
17	0,42	0,89	0,66	
18	0,31	0,23	1,08	
19	0,23	1,07	0,05	
20	1,57	1,46	1,32	
21	0,08	0,16	0,00	
22	0,08	0,24	0,00	
23	1,02	0,42	6,26	
24	9,46	4,99	9,64	
25	0,00	0	0	
26	0,08	0,10	0,09	
27	0,31	0,08	0,03	
28	0,07	0,15	0,01	
29	0,00	0,49	2,17	

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa satu pekerja radiasi yang menerima dosis radiasi total paling besar untuk setiap tahun. Empat pekerja radiasi yang menerima dosis radiasi sebesar 1 mSv atau lebih pada tahun 2014. Pada tahun 2015 terdapat lima orang pekerja radiasi menerima dosis lebih dari 1 mSv dan sepuluh orang pekerja radiasi di tahun 2016 menerima dosis radiasi lebih dari 1 mSv. Nilai Batas dosis untuk seluruh tubuh adalah 20 mSv sedangkan nilai Pembatas Dosis (*Dose Constrain*) yang ditetapkan Pemegang Izin (PI) untuk tahun 2016 adalah 16 mSv. Dosis radiasi tertinggi yang diterima adalah sebesar 9,64 mSv. Jadi walaupun dosis radiasi tertinggi tetapi nilai penerimaan dosis ini masih dibawah *Dose Constrain* maupun Nilai Batas Dosis.

#### Kajian Terhadap Faktor Penyebab Penerimaan Dosis Berlebih

Jika pekerja radiasi yang karena pekerjaannya mengakibatkan yang bersangkutan menerima dosis melebihi NBD, maka PI diwajibkan melakukan kajian terhadap beberapa parameter yang diduga turut memberikan kontribusi terhadap penerimaan dosis. Parameter yang dimaksud meliputi : beban dan frekuensi pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi tersebut, riwayat pekerjaan dari pekerja radiasi yang bersangkutan, kondisi fasilitas, paparan radiasi dan kontaminasi di daerah kerja dan disiplin pekerja radiasi dalam menerapkan prinsip-prinsip proteksi dan keselamatan radiasi [2]. Walaupun penerimaan dosis radiasi total pekerja radiasi tersebut belum menunjukkan nilai mendekati 3/4 Pembatas Dosis (sebesar 16 mSv) tetapi analisa terhadap penerimaan dosis tersebut dikaji menurut variabel tersebut.

#### Beban Dan Frekuensi Pekerjaan

Langkah awal untuk menyelidiki penyebab penerimaan dosis radiasi yang diterima oleh seorang

pekerja radiasi adalah dengan melihat beban pekerjaan yang ditanggung oleh pekerja radiasi dan frekuensi pelaksanaan pekerjaannya. Pemegang Ijin (PI) harus melakukan investigasi beban dan frekuensi pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi tersebut sehingga diketahui apakah beban kerja dan frekuensi pelaksanaan kerja pekerja radiasi tersebut memberikan kontribusi terhadap penerimaan dosis radiasi.

Beban kerja dibandingkan antara pekerja radiasi yang menerima dosis paling tinggi dengan pekerja radiasi lainnya dalam satu bidang. Hasil penyelidikan akan memberikan informasi apakah jenis pekerjaan dengan frekuensi yang dilakukan pekerja tersebut memberikan kontribusi cukup signifikan bagi penerimaan dosis tersebut. Berdasarkan hasil penyelidikan ini juga, PI dapat mengetahui apakah beban pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi masih dalam batas wajar atau telah melampaui batas yang semestinya [2].

### Riwayat Pekerjaan

Untuk membuktikan kebenaran penerimaan pekerja radiasi, maka PI harus menelusuri riwayat pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi tersebut pada periode yang dipandang ada potensi yang memberikan kontribusi penerimaan dosis yang cukup besar tersebut. Penelusuran riwayat pekerjaan harus meliputi tanggal pelaksanaan pekerjaan, jenis pekerjaan, lokasi dilakukannya pekerjaan, jenis radioaktif dan atau sumber radiasi yang digunakan, besarnya aktivitas radioaktif yang digunakan, lamanya waktu pelaksanaan pekerjaan dan besarnya Laju dosis radiasi. Dari hasil penelusuran riwayat pekerjaan yang dilakukan dapat diketahui jenis pekerjaan yang dipandang memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap penerimaan dosis pekerja radiasi.

Pada kasus pekerja radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka di atas, jika ditinjau dari beban dan frekuensi pekerjaan serta riwayat pekerja diperoleh informasi bahwa: sejak tahun 2014 yang bersangkutan bekerja mengelola proses I-131 di Laboratorium PTRR. Pekerjaan dilakukan secara *Team work* bersama 3 orang pekerja radiasi lainnya. Penerimaan dosis radiasi terjadi pada proses dispensing, karena pekerja radiasi langsung bersinggungan dengan zat radioaktif yang ditanganinya. Frekuensi pekerjaan dari tahun ke tahun menunjukkan peningkatan. Beban kerja pada proses I-131 dilakukan berdasarkan kompetensi atau keahlian tiap pekerja radiasi dalam satu *team work*. Pada kasus ini pekerja radiasi yang menerima dosis paling tinggi memang lebih sering melaksanakan proses dispensing dibandingkan dengan teman satu tim nya.

### Kondisi Sarana Dan Fasilitas

Faktor kondisi sarana dan fasilitas yang perlu dikaji meliputi [2] :

1. Fasilitas dan peralatan yang digunakan oleh pekerja radiasi dalam menangani zat radioaktif dan/atau sumber radiasi apakah dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan ataukah telah mengalami

perubahan sehingga berpengaruh pada faktor keselamatan.

2. Sistem VAC yang ada apakah dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan ataukah telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada faktor keselamatan.
3. Fasilitas dan peralatan keselamatan yang ada di tempat dilakukannya penanganan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi apakah dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan ataukah telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada keselamatan pekerja radiasi.

Hasil penyelidikan pada fasilitas kerja, sistem VAC dan fasilitas keselamatan diperoleh data bahwa fasilitas kerja yang digunakan pekerja radiasi sesuai dengan standar laboratorium (standar Cara Pembuatan Obat yang Baik). Sistem VAC menunjukkan kondisi baik dan tidak terdapat kontaminasi udara selama tahun 2014 sampai 2016 - data tingkat kontaminasi udara laboratorium (Tabel 4). Fasilitas dan peralatan keselamatan kerja disiapkan oleh Bidang Keselamatan dan Pengelolaan Limbah sesuai standar CPOB dan Laboratorium Radioisotop dan Radiofarmaka.

### Laju Dosis Dan Tingkat Kontaminasi Udara Di daerah Kerja

Perkiraan dosis yang diterima pekerja radiasi dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Dosis Yang Diterima (mSv)} = \frac{\text{Waktu Kerja} \times \text{Paparan Radiasi}}{6000} \dots (1)$$

dimana paparan radiasi dalam satuan mR/jam, waktu kerja dalam satuan menit serta 6000 merupakan faktor konversi dari mR ke mSv dan dari jam ke menit.

Besarnya perkiraan dosis ini dapat digunakan sebagai bahan perbandingan dengan besarnya dosis yang berasal dari hasil evaluasi TLD-badge.

**Tabel 4.** Laju dosis dan tingkat kontaminasi Udara tertinggi di ruang kerja 101 dan 103 tahun 2014, 2015 dan 2016

Tahun	Uraian	Ruang 101	Ruang 103
2014	Laju dosis	720 $\mu\text{Sv/h}$	730 $\mu\text{Sv/h}$
	Kontaminasi udara	0,0106 Bq/l	0,0032 Bq/l
2015	Laju dosis	1250 $\mu\text{Sv/h}$	1160 $\mu\text{Sv/h}$
	Kontaminasi udara	0,0286 Bq/l	0,0081 Bq/l
2016	Laju dosis	349 $\mu\text{Sv/h}$	890 $\mu\text{Sv/h}$
	Kontaminasi udara	0,0246 Bq/l	0,0412 Bq/l

Penerimaan dosis radiasi pekerja radiasi di ruang kerja tergantung lamanya pekerja tersebut di daerah radiasi. Jika dibandingkan laju dosis tertinggi tahun 2015

dengan tahun 2014 dan 2016, maka tahun 2015 laju dosis tertinggi adalah 1250  $\mu\text{Sv/h}$  di ruang 101 dan 1160  $\mu\text{Sv/h}$  di ruang 103. Hal ini dapat disimpulkan bahwa frekuensi pekerjaan ditahun 2016 makin bertambah atau beban kerja makin besar di tahun 2016. Jika data penerimaan dosis radiasi tahun 2016 diperhatikan maka telah dilakukan pembagian beban pekerjaan dengan pekerja radiasi lainnya sehingga satu pekerja lainnya dalam satu tim juga menerima dosis radiasi tinggi sebesar 6,26 mSv.

### **Disiplin Pekerja Radiasi Dalam Menerapkan Prinsip Proteksi Radiasi**

Faktor lain yang tidak kalah pentingnya yang harus dikaji oleh PI adalah disiplin pekerja radiasi dalam menerapkan prinsip-prinsip proteksi ketika melakukan pekerjaan. Faktor disiplin ini sangat berpengaruh pada besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi [2].

Pekerja radiasi yang akan bekerja di daerah radiasi (Laboratorium PTRR) mempunyai disiplin kerja yang memenuhi syarat. Setiap pekerja radiasi diharuskan memakai alat pelindung diri, dibekali monitor radiasi perorangan dan dipantau oleh Petugas Proteksi Radiasi selama yang bersangkutan bekerja.

## **V. KESIMPULAN**

Dari uraian di atas maka dapat ditarik kesimpulan bahwa: Penerimaan dosis radiasi tertinggi pada Bidang Teknologi Radiofarmaka (TRF) PTRR disebabkan beban pekerjaan dan frekuensi pekerjaan tidak merata pada tiap pekerja radiasi. Kompetensi pekerja radiasi yang tidak sama membuat pekerjaan hanya dapat dilakukan oleh pekerja radiasi dengan kualifikasi dan kompetensi tertentu. Oleh karena itu disarankan untuk melakukan peningkatan kualifikasi dan kompetensi melalui pendidikan dan pelatihan tentang keahlian khusus yang dapat berupa *coaching* atau Diklat Selingkung. Rotasi pekerjaan dapat dilakukan jika pekerja radiasi telah memiliki kualifikasi dan kompetensi yang relatif sama.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi" PPKR/KN 00 03/TRR5/2016, Tangerang Selatan, 2016.
- [2] Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta, 2007.
- [3] Badan Pengawas Tenaga Nuklir , " Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir ", Jakarta, 2013.
- [4] Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, "Rekapitulasi data dosis radiasi pekerja radiasi tahun 2014 sampai 2016", Serpong, 2016.
- [5] Rahayu Djarwanti, " Penentuan Nilai Pembatas Dosis tahun 2016 di PTRR BATAN dengan menggunakan metode Quartilisasi, Jakarta, Juni 2016.



## KAJIAN PENGAWASAN RADIOAKTIVITAS ALAM LUMPUR SIDOARJO

**Moekhammad Alfian**

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN*

e-mail: m.alfian@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Pasal 51 Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007, menyatakan bahwa, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) wajib melakukan intervensi terhadap paparan khronik yang berasal dari NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*)/sumber radiasi alam. Bencana lumpur Sidoarjo merupakan peristiwa alam yang patut dikhawatirkan meningkatkan paparan radiasi alam setempat. Hasil kajian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam mengambil keputusan pengawasan keselamatan radiasi NORM di kawasan lumpur Sidoarjo secara berkala. Selain itu, hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi pemerintah pusat dan daerah serta masyarakat Indonesia, khususnya masyarakat di Sekitar Kawasan. Metode kajian ini dilakukan dengan pengukuran langsung di lapangan, yang meliputi: laju paparan eksternal, konsentrasi radionuklida, konsentrasi radon di dalam tanah, di dalam dan luar ruangan serta di gas. Diperoleh hasil laju paparan pada rentang 0,02- 0,05  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ , konsentrasi aktivitas semua radionuklida dibawah 1000 Bq/Kg, konsentrasi radon di dalam tanah mencapai 6200 Bq/m<sup>3</sup>, konsentrasi radon di udara kawasan lumpur Sidoarjo berada pada rentang konsentrasi radon outdoor rata-rata dunia (1-100 Bq/m<sup>3</sup>). Konsentrasi radon yang terukur di gas (*bubble*) cukup tinggi, terutama untuk di desa Ketapang Keres dan Desa Ketapang, yaitu: pada rentang 109-1235 Bq/m<sup>3</sup> dan konsentrasi radon di dalam rumah 31 Bq/m<sup>3</sup>. Disimpulkan bahwa tidak ada efek peningkatan radiasi alam di sekitar kawasan lumpur lapindo sehingga tidak diperlukan tindakan lanjutan.

**Kata Kunci:** lumpur Sidoarjo, NORM, BAPETEN

### ABSTRACT

*Government Regulation No. 33 year 1997 on ionizing radiation safety and radioactive sources security states that BAPETEN should take intervention to exposure due to chronic exposure from NORM. Sidoarjo Mud event is estimated cause naturally exposure increasing in the site. The aim of assessment to help government to make decision regarding radiation safety control in the place and become information source to government and public. The method of this assessment through direct measurement such as external exposure, radioactivity concentration, radon concentration in soil, gaseous, outdoor and indoor. The result that external exposure 0,02- 0,05  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , radioactivity concentration is below 1000 Bq/Kg, Radon concentration in soil up to 6200 Bq/m<sup>3</sup>, radon concentration outdoor between 1-100 Bq/m<sup>3</sup> and indoor is 31 Bq/m<sup>3</sup>. The summary, that there is no radiation increasing in the SidoarjoMud surrounding so it does not need further action.*

**Keywords:** Sidoarjo Mud, NORM, BAPETEN

## I. PENDAHULUAN

Pengawasan tenaga nuklir tidak terbatas pada fasilitas ataupun kegiatan yang secara sengaja/direncanakan akan memberikan peningkatan paparan radiasi yang diterima oleh pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup (*pemanfaatan/planned exposure*). Pengawasan tenaga nuklir juga memberikan perhatian/proteksi terhadap pekerja masyarakat dan lingkungan akibat paparan radiasi alam/paparan yang telah ada (*existing exposure*), yang besar paparannya dapat bervariasi secara alami atau akibat kegiatan manusia sehingga kadang kala memerlukan tindakan mitigasi/intervensi sampai pada nilai yang dapat diterima.

Dasar hukum pengawasan keselamatan radiasi yang ditimbulkan sumber radiasi alam tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber

Radioaktif. Pasal 51 Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007, menyatakan bahwa, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) wajib melakukan intervensi terhadap paparan khronik yang berasal dari NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*)/sumber radiasi alam [1]. Intervensi yang dimaksud adalah segala tindakan untuk menurunkan paparan radiasi yang ditimbulkan melalui tindakan protektif dan remedial.

Semburan lumpur panas Sidoarjo, selanjutnya disebut Lumpur Sidoarjo, muncul pertama kali pada tanggal 29 Mei 2006 di areal persawahan Desa Siring, Kecamatan Porong. Jarak titik semburan sekitar 150 m arah barat daya sumur Banjar Panji I milik PT. Lapindo Brantas saat sedang dilakukan pemboran minyak dan gas (migas) secara vertikal untuk mencapai formasi kujung pada kedalaman 10300 kaki.

Bencana lumpur Sidoarjo merupakan peristiwa alam yang patut dikhawatirkan meningkatkan paparan

radiasi alam setempat. Terdapat tiga jenis radionuklida primordial utama yaitu K-40 (umur paro 1,25 milyar tahun), Th-232 (umur paro 14 milyar tahun) yang merupakan inti awal deret thorium, dan U-238 (umur paro 4,5 milyar tahun) yang merupakan inti awal deret uranium. Radionuklida tersebut terdapat hampir disemua materi, seperti: kerak bumi, bebatuan, lapisan tanah, air laut, bahan bangunan dan tubuh manusia dengan kadar yang berbeda-beda. Secara umum batuan dari gunung berapi memiliki kadar radionuklida yang lebih tinggi daripada batuan endapan. Sumber radiasi ini memberikan kontribusi dosis eksternal kepada manusia sebesar 0,5 mSv/tahun dari total dosis yang diterima oleh manusia akibat paparan radiasi alam, yaitu sebesar 2,4 mSv/tahun[2]. Munculnya gas gas metan dari permukaan tanah di pemukiman penduduk sekitar lumpur lapindo, terutama di Desa Ketapang, juga berpotensi diikuti pula oleh lepasan gas radon yang merupakan sumber radiasi internal paling dominan bagi manusia. Di dalam deret uranium dan thorium terdapat gas mulia Rn-222 (radon) dan Rn-220 (thoron). Sebagian dari gas yang muncul/terjadi dalam deret peluruhan ini akan keluar dari lapisan tanah atau bahan bangunan. Keberadaan Rn-222 terutama ditentukan oleh kadar Ra-226 di media lingkungan. Nilai indikator untuk gas radon dalam suatu ruangan disebut *reference level*, yang nilainya ditetapkan sebesar 300 Bq/m<sup>3</sup>. Jika nilai tersebut terlampaui, maka perlu pertimbangan untuk menurunkannya melalui pengendalian bahan bangunan dan kondisi tempat tinggal.

Pada tahun 2007, BAPETEN telah melakukan pemantauan radioaktivitas di lumpur Sidoarjo. Pada saat itu, penilaian tingkat radioaktivitas hanya berdasarkan pada laju paparan radiasi eksternal dan konsentrasi aktivitas radionuklida dalam lumpur, tanpa melakukan pengukuran konsentrasi radon. Diperoleh hasil rata-rata nilai laju paparan eksternal dua kali lebih tinggi dari radiasi latar setempat. Namun demikian, masih dibawah nilai batas maksimum laju paparan radiasi eksternal, Sementara itu dari hasil analisis sampel lumpur yang dicuplik pada saat itu, diperoleh konsentrasi aktivitas semua radionuklida di bawah tingkat pengecualian, yaitu: < 1 Bq/g untuk radionuklida deret U dan Th serta <10 Bq/g untuk K-40, sehingga pada saat itu BAPETEN menyimpulkan bahwa tidak ada dampak radiologik yang ditimbulkan oleh lumpur Sidoarjo [3].

Hasil kajian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam mengambil keputusan pengawasan keselamatan radiasi NORM di kawasan lumpur Sidoarjo secara berkala. Selain itu, hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi bagi pemerintah pusat dan daerah serta masyarakat Indonesia, khususnya masyarakat di sekitar kawasan lumpur Sidoarjo, Selain itu hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan edukasi kepada masyarakat setempat tentang sumber radiasi.

## II. METODE

Pengambilan data laju paparan radiasi dilakukan menggunakan alat ukur RadEye PRD. Titik pengukuran mencakup: sekeliling tanggul, di semua lokasi pengambilan sampel radon dan titik pengambilan cuplikan sampel lumpur.



Gambar 1. Pengukuran Laju Paparan Eksternal

Sampel lumpur dicuplik berdasarkan usia lumpur sejak disebarkan dari pusat semburan, yang dibedakan menjadi: lumpur tua, lumpur sedang dan lumpur muda. Lumpur tua diambil di Pos 42, lumpur sedang di Pos 60 dan lumpur muda diambil di Pos 25. Ketiga sampel lumpur tersebut selanjutnya dianalisis kandungan radionuklidanya di laboratorium lingkungan PTKMR-BATAN.

Teknik pengukuran konsentrasi radon di dalam tanah dengan cara menanamkan salah satu lubang pipa berongga ke tanah sampai kedalaman 1 m dari permukaan tanah, kemudian lubang yang lain dari pipa dihubungkan ke alat ukur radon. Pengukuran dilakukan secara kontinyu selama 2 (dua) hari dan data konsentrasi radon direkam setiap 30 menit. Tujuan dari pengukuran secara kontinyu untuk mengetahui perubahan nilai konsentrasi radon sebagai fungsi waktu siang dan malam.



Gambar 2 Pengukuran Radon di Tanah

Pengukuran konsentrasi radon di gas (*bubble*) dilakukan di tiga rumah penduduk di kawasan lumpur Sidoarjo (Desa Siring, Desa Ketapang dan Desa Ketapang Keres) dan satu rumah penduduk yang berada di luar kawasan lumpur Sidoarjo (Desa Pesawahan). Pengukuran di rumah penduduk Desa Pesawahan, selain mengukur konsentrasi radon di gas (*bubble*), juga mengukur konsentrasi radon di dalam rumah penduduk. Pengukuran konsentrasi radon di gas (*bubble*) dilakukan dengan memasukkan salah satu lubang pipa plastik ke permukaan stack gas, kemudian lubang yang dari pipa dihubungkan ke alat ukur radon. Alat ukur radon akan merekam data konsentrasi radon setiap 30 menit.



Gambar 3. Pengukuran Radon di Desa Siring

## III. PEMBAHASAN

Secara keseluruhan, hasil pengukuran laju paparan radiasi alam di semua titik yang diukur tidak

ada yang menunjukkan nilai diatas normal. Nilai laju paparan radiasi di semua titik pengukuran berada pada rentang 0,02- 0,05 $\mu$ Sv/jam, sedangkan rata-rata di dunia pada rentang 0,02-0,07  $\mu$ Sv/jam [4]. Laju paparan tertinggi (0,05 $\mu$ Sv/jam) diambil pada jarak kontak dengan permukaan lumpur. Dengan hasil tersebut, maka dapat diperkirakan bahwa konsentrasi radioaktivitas alam yang terkandung dalam lumpur Sidoarjo penduduk masih berada pada kondisi normal. Nilai laju paparan tersebut dapat digunakan sebagai indikator awal kebutuhan pengawasan dari sumber radiasi alam. Jika hasil pengukuran laju paparan radiasi melampaui nilai 0,5 $\mu$ Sv/jam, maka kandungan konsentrasi aktivitas unsur radioaktif dari lumpur Sidoarjo dicurigai melampaui tingkat pengecualian 1 Bq/gram dan memerlukan pertimbangan intervensi. Nilai 0,5  $\mu$ Sv/jam tersebut ditetapkan oleh IAEA sebagai nilai *action level*.

Hasil analisis sampel lumpur diperoleh konsentrasi aktivitas beberapa radionuklida seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

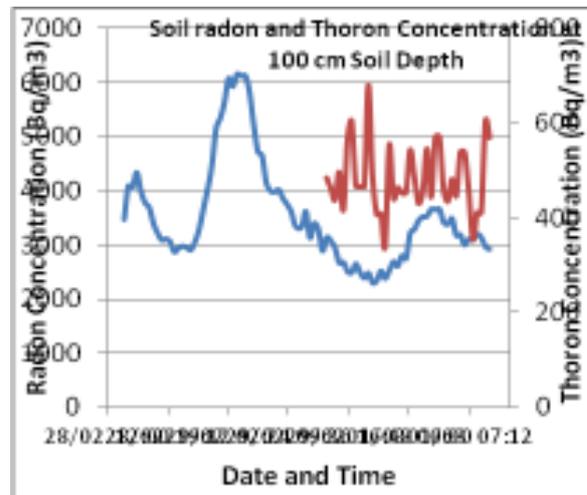
Konsentrasi aktivitas semua radionuklida di semua sampel lumpur di bawah nilai tingkat pengecualian radionuklida alam, yaitu: 1000 Bq/Kg untuk radionuklida Ra-226, U-238 dan Th-232 serta 10000 Bq/Kg untuk K-40. Dengan data tersebut dapat dinyatakan bahwa tidak ada dampak radiologik berarti yang ditimbulkan oleh lumpur Sidoarjo terhadap masyarakat dan lingkungan, namun mengingat sifat spontan dan random dari unsur radioaktif maka pemantauan berkala masih dipandang perlu sampai berhentinya semburan lumpur.

**Tabel 1.** Konsentrasi Aktivitas Beberapa Radionuklida Alam dalam Sampel Lumpur Sidoarjo

Sampel Lumpur	KonsentrasiAktivitas (Bq/Kg)			
	Ra-226	Th-232	U-238	K-40
Lumpur tua	65,67 $\pm$ 6,38	47,73 $\pm$ 4,70	37,05 $\pm$ 3,70	403,3 $\pm$ 40,3
Lumpur Sedang	51,06 $\pm$ 5,00	<b>40,25<math>\pm</math>4,02</b>	<b>52,77<math>\pm</math>5,30</b>	396,5 $\pm$ 40,3
Lumpur Muda	47,29 $\pm$ 4,73	37,50 $\pm$ 3,75	13,32 $\pm$ 1,33	397,2 $\pm$ 40,2

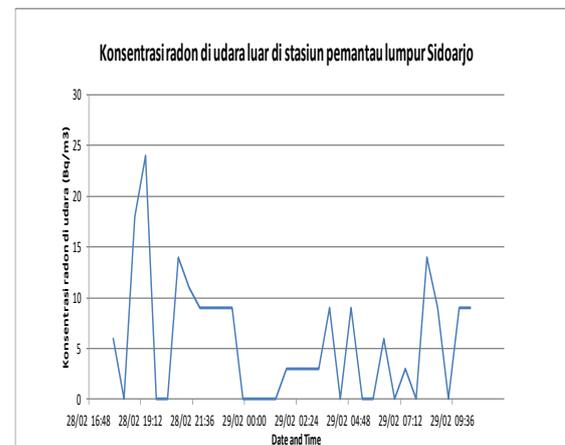
Sumber: P2STPFRZR, 2012

Hasil pengukuran konsentrasi radon di tanah diberikan dalam Gambar 4 yang menampilkan nilai konsentrasi radon dan thoron sebagai fungsi waktu. Berdasarkan Gambar 4, diketahui bahwa konsentrasi radon bergantung pada waktu pengukuran. Pada saat dini hari, konsentrasi radon akan lebih tinggi dibandingkan pada siang hari, hal ini karena adanya perbedaan tekanan dan temperatur pada malam dan siang hari. Konsentrasi radon paling tinggi mencapai sekitar 6200 Bq/m<sup>3</sup> yang terjadi pada pukul 02.24 WIB dan konsentrasi terendah terjadi pada pukul 16.50 WIB. Nilai konsentrasi radon tersebut adalah konsentrasi radon di dalam tanah sehingga wajar jika konsentrasinya sangat besar, hal tersebut dikarenakan radon yang terbentuk di dalam tanah belum mengalami pengenceran ke atmosfer.



**Gambar 4.** Hasil Pengukuran Konsentrasi Radon di Tanah

Pengukuran konsentrasi radon di udara dilakukan di Pos 25 (20 m dari lokasi pengukuran konsentrasi radon di tanah). Pengukuran ini dimaksudkan untuk mengetahui kondisi konsentrasi radioaktivitas udara dan hubungannya dengan konsentrasi radon di tanah. Hasil pengukuran konsentrasi radon di udara yang diberikan dalam Gambar 5 memperlihatkan bahwa konsentrasi radon di udara kawasan lumpur Sidoarjo berada pada rentang konsentrasi radon outdoor rata-rata dunia (1-100 Bq/m<sup>3</sup>). Disamping itu, hal ini sebagai bukti bahwa konsentrasi radon yang tinggi di tanah seperti yang dijelaskan di atas merupakan hal yang wajar dan akan dijumpai di tanah manapun.



**Gambar 5.** Hasil Pengukuran Konsentrasi Radon di udara

Pengukuran konsentrasi radon di gas (*bubble*) untuk mengetahui hubungan radon di dalam gas (*bubble*). Gas atau *bubble* yang muncul di beberapa rumah penduduk merupakan pencampuran dua gas utama, yaitu gas metan (CH<sub>4</sub>) dan asam sulfida (H<sub>2</sub>S). Fenomena ini berkaitan dengan isu kandungan gas yang tinggi di bawah tanah di daerah Sidoarjo. Sedangkan keberadaan asam sulfida berkaitan dengan isu gunung lumpur yang terdapat di bawah permukaan tanah di Sidoarjo.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Konsentrasi Radon di Gas (*Bubble*)

No	Lokasi	Konsentrasi Radon (Bq/m <sup>3</sup> )
1	Desa Siring	109
2	Desa Ketapang Keres	1235
3	Desa Ketapang	945,5
4	Desa Pesawahan	230

Sumber: P2STPFRZR, 2012

Konsentrasi radon yang terukur di gas (*bubble*) cukup tinggi, terutama untuk di desa Ketapang Keres dan Desa Ketapang, yaitu: pada rentang 109-1235 Bq/m<sup>3</sup>. Namun demikian, konsentrasi radon tersebut adalah konsentrasi radon di sumber atau radon belum mengalami pengenceran alami, sehingga wajar jika konsentrasinya lebih tinggi dibandingkan standar konsentrasi radon di udara. Hal ini juga dibuktikan dengan konsentrasi radon di udara sekitar yang nilainya cukup rendah, yaitu: 12 dan 18 Bq/m<sup>3</sup> dan hasil pengukuran konsentrasi radon di dalam rumah penduduk bernilai 31 Bq/m<sup>3</sup> atau dibawah nilai konsentrasi radon indoor rata-rata di dunia (39 Bq/m<sup>3</sup>).

Dosis efektif individu merupakan indikator dalam keselamatan radiasi. Terdapat batasan terimaan dosis efektif untuk manusia dari berbagai kegiatan yang melibatkan sumber radiasi. Penetapan batasan dosis tersebut sebagai upaya menyelamatkan manusia dari efek stokastik dan deterministik sumber radiasi.

Tingkat dosis efektif individu yang ditimbulkan oleh lumpur Sidoarjo perlu diperhitungkan untuk berbagai maksud pemanfaatan lumpur tersebut, terlebih untuk hunian dikemudian hari. Nilai dosis efektif individu merupakan gabungan dari dosis eksternal dan internal yang diterima oleh suatu individu. Dosis efektif individu dari lumpur Sidoarjo dihitung dengan persamaan 1.

$$E = t \times Q \times D \times Q_f \times 10^{-6} \quad \text{----(1)}$$

dimana:

E adalah dosis efektif individu (mSv/tahun)

t adalah lama jam dalam satu tahun yang besarnya 8760 jam

Q adalah faktor konversi yang besarnya 0,7 Sv/Gy/tahun

Q<sub>f</sub> adalah faktor okupansi yang besarnya 0,8

D adalah laju dosis di udara yang dihitung dengan persamaan 2

$$D = \sum_x A_x \times C_x \quad \text{-----(2)}$$

A<sub>x</sub> adalah konsentrasi aktivitas radionuklida (Bq/Kg)

C<sub>x</sub> adalah faktor konversi nGy/jam / Bq/kg, yang besarnya untuk Ra-226, Th-232 dan K-40 masing-masing 0,427; 0,662 dan 0,043.

Hasil perhitungan nilai laju dosis di udara (D) dan dosis efektif individu (E) dapat dilihat dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Laju Dosis di Udara dan Dosis Efektif yang ditimbulkan oleh Lumpur

Sampel Lumpur	Laju Dosis di Udara (nGy/jam)	Dosis Efektif (mSv/tahun)
Tua	76,98±4,483	0,378±0,022
Sedang	65,92±3,287	0,323±0,019
Muda	62,10±3,637	0,305±0,019

Sumber; P2STPFRZR, 2012

Dosis efektif individu di atas belum termasuk dosis efektif dari sumber radon. Dosis efektif individu yang diterima oleh masyarakat akibat paparan radon ditentukan dengan membandingkan konsentrasi radon di dalam rumah penduduk dengan nilai *reference level* sebesar 300 Bq/m<sup>3</sup> atau setara dengan dosis 10 mSv/tahun. Berdasarkan data pengukuran konsentrasi radon di dalam rumah penduduk diperoleh nilai konsentrasi sebesar 31 Bq/m<sup>3</sup>, sehingga diperkirakan dosis efektif yang diterima dari sumber radon sebesar 1,033 mSv/tahun. Dengan demikian, total dosis efektif individu yang ditimbulkan oleh lumpur tua, sedang dan muda masing-masing sebesar 1,411±0,022 mSv/tahun; 1,357±0,019 mSv/tahun dan 1,338±0,019 mSv/tahun. Nilai dosis tersebut dibawah dosis rata-rata yang diterima manusia di dunia akibat paparan radiasi alam tanpa sinar kosmik dan jalur injeksi, yang besarnya 1,7 mSv/tahun [4]. Dengan berdasarkan nilai dosis efektif individu, dapatlah diketahui bahwa untuk saat ini keberadaan lumpur Sidoarjo tidak memberikan dampak radiologik yang berarti terhadap masyarakat sekitar. Namun, kenaikan dosis antar jenis lumpur perlu dipertimbangan untuk mengantisipasi terlampauinya nilai batas dosis masyarakat dikemudian hari.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil telaahan pustaka, pengamatan di lapangan, pengukuran di lapangan, analisis hasil survei dan analisis sampel maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada efek peningkatan radiasi alam di sekitar kawasan lumpur lapindo sehingga tidak diperlukan tindakan lanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2] P2STPFRZR, Laporan Hasil Kajian, 2007, Jakarta.
- [3] IAEA, 2011, GSR Part 3, Safety Requirements: Radiation Protection and Safety of radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna
- [4] IAEA. (2015) SSG-32 Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, Vienna



## PERBEDAAN INDIKATOR NILAI DOSIS RADIASI (CTDI<sub>w</sub>) DAN *IMAGE NOISE* PADA TEKNIK *SEKUENS* DAN *SPIRAL* PADA *COMPUTED TOMOGRAPHY FACE BONE* ( STUDI PADA MODALITAS CT SCAN MERK SIEMENS 6 SLICE )

Yeti Kartikasari<sup>1</sup>, Sri Mulyati<sup>1</sup>, Bachtiar Arif Nugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Poltekkes Kemenkes Semarang

<sup>2</sup>Mahasiswa Prodi D-IV Teknik Radiologi

e-mail: yeti.kartikasari@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini menggunakan parameter faktor eksposi yaitu arus tabung dan waktu (mAs) pada CT scan untuk pengukuran nilai dosis radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan noise citra pada penggunaan dua teknik pemindaian yaitu teknik sekuens dan spiral. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan tingkat dosis radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan noise citra pada dua teknik pemindaian yaitu sekuens dan spiral dengan variasi mAs pada CT Scan Siemens 6 slice. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Dengan variabel bebas variasi mAs ( 250, 260, 270, 280 dan 290) sedangkan variabel terikatnya adalah dosis radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan noise citra. Selanjutnya untuk membandingkan dosis radiasi dan noise citra pada teknik sekuens dan spiral dilakukan uji paired T-Test untuk mengambil kesimpulan dengan tingkat kepercayaan 95% ( $\rho$  value <0,05). Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknik CTDI<sub>w</sub> rata-rata untuk teknik sekuens adalah 60,2300 mGy lebih kecil dari pada nilai teknik spiral yaitu 60,9840 mGy, sedangkan noise citra rata-rata untuk teknik sekuens 320,920 lebih besar daripada teknik spiral pada 258,59. Analisis statistik dengan menggunakan uji Paired T-Test menunjukkan nilai perbedaan yang signifikan,  $\rho$  value = 0,012 ( $\rho$  value <0,05). Artinya ada perbedaan nilai dosis pada teknik sekuens dan teknik spiral, sedangkan uji Wilcoxon pada saat menunjukkan noise citra dinilai memiliki nilai sebesar  $\rho$  value = 0,000 ( $\rho$  value <0,05) yang memiliki makna ada perbedaan noise citra antara teknik sekuens dan teknik spiral.

**Kata kunci:** Kuat Arus Tabung dan waktu (mAs), Dosis Radiasi (CTDI<sub>w</sub>), Noise, Teknik Sekuens, Teknik Spiral

### ABSTRACT

*This Research use parameter of exposure factor are tube current and time ( mAs) of CT scan for measuring dose radiation (CTDI<sub>w</sub>) and image noise with sequence and spiral techniques. The purpose of this research is to know difference of radiation dose ( CTDI<sub>w</sub>) and image noise with sequence and spiral techniques of variation mAs at CT Scan Siemens 6 slice. This research was an experimental study. A five various use of mAs (from 250 mAs up to 290 mAs) and then effect of radiation doses (CTDI<sub>w</sub>) and image noise due to the techniques being implemented were compared and measured with tested to use paired T-Test to take a conclusion with trust storey level 95 % ( $\rho$  value <0,05). The results shown that the mean CTDI<sub>w</sub> for sequence technique is at 60,2300 mGy smaller than that of the value for spiral technique at 60,9840 mGy, while mean image noise for sequence technique is 320,920 greater than the spiral technique at 258,59. Statistical analysis by using test of Paired T-Test show value of significantly with  $\rho$  value equal to 0,012 ( $\rho$  value < 0,05). That having meaning that there is difference of dose value at sequence and spiral techniques, while test of Wilcoxon at show image noise assess significantly with  $\rho$  value equal to 0,000 ( $\rho$  value < 0,05). It means there are difference of noise image between of sequence and spiral techniques.*

**Keywords:** *The tube current time (mAs), Radiation Dose (CTDI<sub>w</sub>), Noise, Sequence technique, Spiral technique*

### I. PENDAHULUAN

*Multi Slice Computed Tomography (MSCT)* adalah salah satu alat pemeriksaan Radiologi diagnostik yang memanfaatkan komputer untuk melakukan rekonstruksi data yang diperoleh dari sejumlah baris detektor yang menerima berkas sinar-X yang mengalami penyerapan sejumlah energi (*atenuasi*) dari obyek atau organ yang dilewatinya. *MSCT* merupakan teknologi alat diagnostik yang berkembang dengan sangat cepat dan dimanfaatkan dalam mendiagnosa adanya gangguan struktur morfologi organ tubuh. Metode pemeriksaan yang non invasive, dengan waktu scan kurang dari 10 detik, area scan yang semakin luas,

detail anatomi yang semakin jelas, dan mampu mendeteksi kelainan semakin akurat dengan irisan yang semakin tipis kurang dari 1mm (Bontrager, 2001).

Menurut *Siemens*, pesawat *MSCT* dapat digunakan 2 teknik yaitu teknik *sekuens* dan teknik *spiral*, keduanya memiliki perbedaan hanya pada jumlah pengambilan gambar saja pada saat scanning. Untuk pemilihan mAs pada pesawat *MSCT* pada *siemens* tidak ada perbedaan antara teknik *sekuens* dengan teknik *spiral*. Pemilihan mAs yang tinggi digunakan untuk menghasilkan gambaran dengan detail

yang baik dan juga noise yang dihasilkan kecil akan tetapi dosis yang dihasilkan akan tinggi.

Ada beberapa metode yang digunakan untuk pengukuran dosis radiasi pada CT-Scan seperti : metode *Pencil Ionization Chamber* atau dengan *Thermoluminisence Dosimetri (TLD)*, metode *CT Dose Index (CTDI)* dan *Multi Scan Average Dose (MSAD)* (Seeram, 2001).

Penggunaan parameter mAs pada *scanning* disamping dapat mempengaruhi dosis radiasi yang diterima oleh pasien, secara langsung juga dapat mempengaruhi *image noise* dan kontras resolusi pada sebuah citra. Karenanya sangat diperlukan pengetahuan untuk mengatur variasi parameter *scanning* untuk mengurangi keluaran dosis radiasi terhadap pasien, akan tetapi mampu menghasilkan kualitas citra yang optimal.

Pengalaman peneliti selama praktek di Rumah Sakit Prof Dr Margono Soekardjo, radiografer terkadang menggunakan teknik *sekuens* dan terkadang menggunakan teknik *spiral* dalam pemeriksaan kepala. Alasan radiografer menggunakan teknik *sekuens* dan *spiral* sebenarnya sama-sama menghasilkan gambaran yang tajam, akan tetapi dari jumlah banyaknya pengambilan gambar pada saat *scanning* lebih baik dengan menggunakan teknik *spiral*. Untuk keawetan tabung lebih baik menggunakan teknik *sekuens* karena berkas sinar yang dihasilkan lebih kecil.

Di RSUD Margono Soekardjo terdapat banyak permintaan pemeriksaan *CT-Scan* untuk tulang wajah, sehingga peneliti mengambil tulang wajah sebagai objek pada penelitian ini, selain tulang wajah adalah obyek yang homogen, hasil dari pengukuran dosis dan *image noise* pada penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi nilai dosis dan *image noise* pada teknik *scanning sekuens* dan *spiral*, sehingga radiografer dapat memilih protokol *scanning* yang tepat untuk pemeriksaan tulang wajah.

Berdasarkan alasan tersebut diatas, penelitian tentang dosis radiasi yang mengkaji tentang perbedaan dosis radiasi dan *image noise* pada variasi arus tabung (mAs) teknik *sequence* dan *spiral computed tomography* diharapkan dapat membantu mengetahui tingkat dosis radiasi yang akan juga berpengaruh pada efek biologi dan juga *image noise* yang dihasilkan, melalui penelitian yang berjudul **“Perbedaan Indikator Nilai Dosis Radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan *image noise* pada Teknik *sekuens* dan *spiral* pada *computed tomography face bone* ( Studi pada Modalitas CT scan Merk Siemens 6 Slice ).**

## II. METODE / METODOLOGI / LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Jenis Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Hasil pengujian yang telah diolah selanjutnya dianalisa dengan menggunakan program *SPSS 16*. Tahap pertama dilakukan uji normalitas data. Apabila data normal maka data di uji dengan uji *paired T-Test*, tetapi apabila data tidak normal, maka data di uji dengan *Wilcoxon*. Keputusan

terhadap hasil penelitian adalah  $H_0$  ditolak apabila nilai  $p \text{ value} < 0,05$  pada tingkat kepercayaan 95%

Penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Menggunakan phantom kepala dengan 5 variasi mAs 250, 260, 270, 280, 290 mAs. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik *scanning sekuens* dan *spiral*. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai dosis radiasi hasil pengukuran nilai  $CTDI_w$  (*CT dose index weighted*) dan *Image Noise*. Variabel terkontrol yang digunakan adalah *Phantom Kepala*, tegangan tabung sinar - X (kV), *pitch*, *field of view (FOV)*, *slice thickness*, dan Pesawat CT Scan. Hasil nilai  $CTDI_w$  dapat dilihat di display monitor. *Image noise* diukur dengan menggunakan ROI pada obyek yang telah ditentukan pada daerah tulang wajah atau face bone yaitu pada daerah nasal, frontal, zygomaticum kanan, zygomaticum kiri, maksila kanan dan maksila kiri, yang dilakukan pada pesawat CT Scan Siemens 6 slice di Instalasi radiologi Rumah Sakit Prof Dr Margono Soekardjo. Hasil kemudian dilakukan uji normalitas data, Selanjutnya jika data berdistribusi normal dilakukan *pair t test* dan jika tidak normal dilakukan Uji *Wilcoxon*.  $H_0$  ditolak jika  $p \text{ value} < 0,05$  (tingkat kepercayaan 95 %)

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 1.** Tabel Hasil pengukuran  $CTDI_w$  pada variasi mAs pada teknik *sequence* dan *spiral*

NO	NILAI mAs	TEKNIK SCANNING	
		Nilai $CTDI_w$ ( SEQUENCE )	Nilai $CTDI_w$ ( SPIRAL )
1	250	55,61 mGy	55,75 mGy
2	260	57,94 mGy	58,87 mGy
3	270	60,23 mGy	61,41 mGy
4	280	62,50 mGy	63,32 mGy
5	290	64,87 mGy	65,57 mGy

Tabel 1 di atas memperlihatkan perbedaan nilai dosis radiasi pada teknik *Sekuens* dan teknik *Spiral*. Kenaikan nilai mAs Pada teknik *Sekuens* dan *Spiral* sama-sama mengakibatkan kenaikan nilai dosis radiasi. Dosis radiasi yang menghasilkan dosis paling tinggi adalah pada teknik *spiral*. Dari 5 variasi mAs, nilai dosis yang paling tinggi adalah pada teknik *spiral* yaitu sebesar 65,57 mGy pada variasi 290 mAs dan nilai dosis paling rendah adalah pada teknik *Sekuens* sebesar 55,61 mGy pada variasi 250 mAs.

Setelah Hasil dari nilai dosis diperoleh, kemudian hasil data diuji dengan menggunakan *SPSS 16,0* untuk mengetahui perbedaan nilai dosis antara teknik *Sekuens* dan *spiral*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menguji data dengan uji normalitas data terlebih dahulu.

**Tabel 2.** Tabel Hasil uji statistik normalitas data dengan Kolmogorof Smirnov

No	Variabel	$\rho$ value	Makna
1	Dosis Teknik <i>Sequence</i>	0,200	Distribusi normal
2	Dosis Teknik <i>Spiral</i>	0,200	Distribusi normal

Uji Normalitas data pada penelitian dikatakan normal jika nilai  $\rho$  value  $> 0,05$ , dari hasil uji normalitas data diatas bahwa variabel dosis radiasi pada teknik *Sekuens* dan spiral menghasilkan  $\rho$  value 0,200. Hal ini berarti nilai variabel teknik *Sekuens* dan teknik *spiral* berdistribusi normal.

Setelah data pada variabel dosis radiasi teknik *Sekuens* dan *spiral* dikatakan normal, langkah selanjutnya menguji kedua data tersebut dengan uji *Paired T-Test* untuk mengetahui perbedaan antara nilai dosis radiasi pada teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*.

**Tabel 3.** Tabel Hasil uji statistik *Paired T-Test* pada teknik *Sekuens e* dan *spiral*

No	Variabel	$\rho$ value	Makna
1	Pair 1 dosis radiasi Teknik <i>Sekuens</i> -Teknik <i>Spiral</i>	0,012	$H_0$ ditolak dan $H_a$ Diterima.

Uji Statistik pada penelitian, apabila hasil  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima jika nilai  $\rho$  value  $< 0,05$ , sedangkan pada hasil uji statistik di atas dengan menggunakan uji *Paired T-test* didapatkan hasil  $\rho$  value 0,012, hal ini berarti bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima, yang berarti bahwa ada perbedaan nilai dosis radiasi antara teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*.

Hasil pengukuran *image noise* dengan metode *Region of Interst* (ROI) pada masing-masing *Objek* yang telah ditentukan pada daerah tulang wajah atau *Face Bone* yang dilakukan pada pesawat *Siemens 6 Slice* di Instalasi Radiologi RSUD Prof DR Margono Soekarjo Purwokerto secara rinci adalah sebagai berikut :

**Gambar 1.** Pengukuran *noise* dengan ROI pada daerah tulang zigomatikum dan nasal**Gambar 2.** Pengukuran *noise* dengan ROI pada daerah tulang maxilla kanan dan kiri**Gambar 3.** Pengukuran *noise* dengan ROI pada daerah tulang Frontal**Tabel 4.** Tabel Nilai *image noise* pada variasi mAs (Teknik *Sekuens*)

	mAs	Nilai Image Noise Pada Teknik <i>Sequence</i>					
		a	b	c	d	e	f
1	250	173,0	74,9	464,2	470,1	387,9	393,3
2	260	172,7	71,0	464,2	467,7	376,5	390,4
3	270	171,7	69,5	462,5	467,7	365,4	390,0
4	280	171,0	69,4	459,9	463,3	353,7	389,5
5	290	168,6	67,6	456,4	459,8	348,0	388,3

Keterangan :

a : nasal; b:frontal; c:zigomatikum kanan; d: zigomatikum kiri; e : Maxilla kanan; f: Maxilla kiri

**Tabel 5.** Tabel Nilai *image noise* pada variasi mAs (Teknik *Spiral*)

No	mAs	Nilai Image Noise Pada Teknik <i>Spiral</i>					
		a	b	c	d	e	f
1	250	172,8	38,3	374,0	397,6	336,8	354,2
2	260	168,5	37,5	371,7	388,4	315,4	331,7
3	270	167,5	35,7	368,4	371,3	289,9	311,0
4	280	162,8	32,0	363,1	355,2	282,3	289,8
5	290	158,4	29,7	360,9	345,8	275,6	271,3

Keterangan :

a : nasal; b:frontal; c:zigomatikum kanan; d: zigomatik kiri; e : Maxilla kanan; f: Maxilla kiri

Dari grafik di atas menunjukkan nilai *image noise* di daerah Tulang Frontal, Nasal, Zigomatikum Kanan, Zigomatikum Kiri, Maxilla Kanan, dan Maxilla Kiri mengalami penurunan apabila nilai mAs dinaikan, hal ini terjadi di teknik scanning *Sekuens* maupun *Spiral*. Grafik di atas juga menunjukkan nilai *image noise* paling tinggi adalah pada teknik *Sekuens* pada semua objek yang diukur nilai *image noisenya*.

Setelah Hasil dari *Image Noise* diperoleh, kemudian hasil data diuji dengan menggunakan SPSS 16,0 untuk mengetahui perbedaan nilai dosis antara teknik *sekuens* dan *spiral*. Langkah pertama yang dilakukan adalah menguji data dengan uji normalitas data terlebih dahulu.

**Tabel 6.** Tabel Hasil uji statistik normalitas data dengan Kolmogorof Smirnov

No	Variabel	$\rho$ value	Makna
1	<i>Image Noise</i> Teknik <i>Sequence</i>	0,000	Distribusi tidak normal
2	<i>Image noise</i> Teknik <i>Spiral</i>	0,002	Distribusi tidak normal

Normalitas data pada penelitian dikatakan normal jika nilai  $\rho$  value  $> 0,05$ , dari hasil uji normalitas data diatas bahwa variabel *image noise* pada teknik *Sekuens* menghasilkan  $\rho$  value 0,000, hal ini berarti nilai variabel *image noise* pada teknik *Sekuens* berdistribusi tidak normal, sedangkan pada variabel teknik *spiral* menghasilkan nilai  $\rho$  value 0,002, yang berarti bahwa data pada variabel teknik *spiral* berdistribusi tidak normal.

Setelah data pada variabel *image noise* teknik *Sekuens* dan *spiral* dikatakan tidak normal, langkah selanjutnya menguji kedua data tersebut dengan uji *Wilcoxon* untuk mengetahui perbedaan nilai *image noise* pada teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*.

**Tabel 7.** Tabel Hasil uji statistik Wilcoxon pada teknik *sequence* dan *spiral*

No	Variabel	P value	Makna
1	Pair 1 <i>Image noise</i> Teknik <i>Sekuens</i> - Teknik <i>Spiral</i>	0,000	$H_0$ ditolak dan $H_a$ Diterima.

Uji Statistik pada penelitian, apabila hasil  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima jika nilai  $\rho$  value harus  $< 0,05$ , sedangkan pada hasil uji statistik di atas dengan menggunakan uji *Wilcoxon* didapatkan hasil  $\rho$  value 0,000, hal ini berarti bahwa  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima, yang berarti bahwa ada perbedaan *image noise* antara teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*.

#### Pembahasan

Hasil analisa dari variasi mAs terhadap perubahan nilai dosis radiasi pada teknik *Sekuens* dan *spiral* menunjukkan bahwa pada penggunaan mAs yang semakin besar, maka semakin besar pula nilai dosis radiasinya. Peningkatan nilai dosis radiasi dapat terlihat pada variasi mAs dari 250 hingga 290 pada teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*, nilai dosis yang ditunjukkan mengalami peningkatan apabila nilai mAs diperbesar.

Menurut Kalender (2000), terdapat hubungan antara dosis radiasi, arus tabung (mA) dan waktu scanning (s). Dosis radiasi memiliki persamaan linier terhadap nilai arus tabung dan waktu scanning (mAs). Penurunan nilai mAs menyebabkan penurunan terhadap nilai dosis radiasi akan tetapi *image noise* yang dihasilkan akan meningkat 2% dengan parameter yang lain konstan.

Hasil analisa juga menunjukkan bahwa nilai dosis radiasi pada teknik *spiral* lebih besar dari nilai *sekuens*, hal ini ditunjukkan dari nilai *mean* pada masing-masing teknik *scanning*, yaitu pada teknik *sekuens* didapatkan nilai *mean* adalah 60,2300 dan nilai *mean* pada teknik *spiral* adalah 60,9840. Pada penelitian di atas juga diketahui bahwa setiap kenaikan 10 mAs pada teknik *sekuens* menghasilkan 4 % kenaikan nilai dosis radiasi, sedangkan pada teknik *spiral* mengalami kenaikan nilai dosis sekitar 5 %. Perbedaan kenaikan nilai dosis di atas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara teknik *sekuens* dan teknik *spiral*.

Hasil uji statistik menggunakan uji *Paired T-test* dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa nilai dosis pada teknik *Sekuens* dan *spiral* terdapat perbedaan antara satu d *Sekuens* engan yang lain. Hal ini ditunjukkan dengan nilai  $\rho$  value adalah 0,012, yang berarti bahwa terdapat perbedaan nilai dosis radiasi antara teknik *Sekuens* dan teknik *spiral*.

Berdasarkan hasil analisa tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai *image noise* yang diperoleh dari hasil pengukuran standar deviasi menggunakan ROI, cenderung mengalami penurunan terhadap variasi mAs pada teknik *Sekuens* maupun teknik *spiral*. Nilai *image noise* yang dihasilkan oleh teknik *Sekuens* maupun teknik *spiral* mengalami penurunan apabila nilai mAs dinaikan, hal ini sesuai dengan teori *Bushberg* (2003) yang mengatakan bahwa nilai *image noise* akan turun apabila nilai mAs dinaikan, dan *noise* akan naik apabila nilai mAs diturunkan. Nilai *image noise* yang dihasilkan oleh teknik *Sekuens* lebih besar dibandingkan dengan teknik *spiral*, hal ini dilihat dari nilai *mean* pada teknik *Sekuens* adalah 320,920, sedangkan nilai *mean* pada teknik *spiral* adalah 258,587.

Hasil uji statistik dengan uji *wilcoxon* menghasilkan *value* adalah 0,000 ( $< 0,05$ ), yang berarti bahwa terdapat perbedaan *image noise* antara teknik *Sekuens* dengan teknik *spiral*. Perbedaan nilai *image noise* yang dihasilkan berbeda pada tiap objek, selain itu nilai *image noise* pada tiap teknik *scanning* juga berbeda. Hasil uji di atas juga membuktikan selain terdapat perbedaan *image noise* antara teknik *Sekuens* dan *spiral*, juga membuktikan bahwa nilai *image noise* yang kecil adalah pada teknik *spiral*.

#### IV. KESIMPULAN

1. Ada perbedaan nilai dosis radiasi ( $CTDI_w$ ) pada variasi mAs teknik *sekuens* dan *spiral computed tomography*, didukung dengan analisa hasil uji statistik dari pengolahan data menggunakan *SPSS 16.0 for Windows* menggunakan uji *paired T-Test* dibuktikan dengan nilai signifikan sebesar 0,012 ( $\rho$  value  $< 0,05$ ) menggunakan tingkat kepercayaan 95 %. Semakin tinggi nilai mAs yang digunakan maka semakin tinggi pula nilai dosis radiasi ( $CTDI_w$ ) yang dihasilkan. Nilai  $CTDI_w$  teknik *sekuens* lebih besar dibandingkan dengan teknik *spiral*, Hal ini dapat diketahui dari nilai rata-rata atau *mean*  $CTDI_w$  yang dihasilkan dari kedua teknik tersebut. Pada penggunaan teknik *sekuens* menghasilkan nilai *mean* dosis radiasi sebesar 60,2300 sedangkan teknik *spiral* menghasilkan nilai *mean* dosis radiasi sebesar 60,9840.
2. Pada penelitian tentang perbedaan variasi mAs terhadap *image noise* pada teknik *Sekuens* dan *spiral* memiliki kesimpulan bahwa Ada perbedaan *image noise* pada variasi mAs teknik *sekuens* dan *spiral computed tomography*, didukung dengan analisa hasil uji statistik dari pengolahan data menggunakan *SPSS 16.0 for Windows* menggunakan uji *Wilcoxon* dibuktikan dengan nilai signifikan sebesar 0,000 ( $\rho$  value  $< 0,05$ ) menggunakan tingkat kepercayaan 95 %. Semakin tinggi nilai mAs yang digunakan maka

nilai *image noise* yang dihasilkan akan menurun. Nilai *image noise* teknik *Sekuens* lebih besar dibandingkan dengan teknik *spiral*, Hal ini dapat diketahui dari nilai rata-rata atau *mean image noise* yang dihasilkan dari kedua teknik tersebut. Pada penggunaan teknik *Sekuens* menghasilkan nilai *mean image noise* sebesar 320,920 sedangkan teknik *spiral* menghasilkan nilai *mean image noise* sebesar 258,597.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amarudin, 2007., *Image Quality CT Scan*, <http://www.amarudinmultiply.com> akses Juli 2012
- [2] Applegate, J, MS, 1991. Sectional anatomy learning system, W.B. Saunders Company, London.
- [3] Astuti, Retno, 2007. Pengaruh Peningkatan Nilai mAs Terhadap Image Noise Pada Pemeriksaan CT Scan Kepala.
- [4] Bajpai, R. N., 1991, *Osteologi Tubuh Manusia*, Bina Rupa Aksara, Jakarta.
- [5] Ballinger, Philip, W. 1999. *Merill's Atlas of Radiographic Positions and Radiologic Procedures*, - 9 Th ed. Mosby. St, Louis, Missouri.
- [6] Blanck, Cheryl. A. 1998. *Understanding Helical Scanning* – 1<sup>st</sup> ed. Willians & Wilkins. USA.
- [7] Bontrager, Kenneth L. 2001. *Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy*. Fifth Edition. Mosby. United State of America.
- [8] Bushberg. J. T., 2003 *The Essential Physics of Medical Imaging*. Second Edition. Philadelphia. USA
- [9] Bushong, S C. 2001. *Radiologic Science For Technologist Physic, Biology and Protection*. Sixth Edition. The CV Mosby Company. Washington DC.
- [10] Carlton, Richard R. 2001. *Principles of Radiographic Imaging : an Art and a Science*. Third Edition. Delmar. United States of America.
- [11] Exposure Factors. <http://www.e-radiography.net/radtech/e/exposurefactors.htm>. Diakses pada tanggal 21 Maret 2012.
- [12] Goldman LW , 2007. *Principles of CT: Radiation Dose and Image Quality* Journal of Nuclear Medicine Technology Volume 35 Number 4, 2007 213-225, Society of Nuclear Medicine.
- [13] Kalender, Willi. A. 2000. *Computed Tomography, Fundamental, System Technology, Image Quality, Applications*. Publicis MCD Verlag. Germany.
- [14] Knollmann, Friedrich. MD. 2006. *Multislice CT : Principle and Protocol First Edition*. Saunders Elsevier. Philadelphia
- [15] Lestari, Budi. P. 2009. Pengaruh Variasi mA dan *Slice Thickness* terhadap nilai radiasi pada teknik Scanning “ *Aksial Slice By Slice* ”.
- [16] McNitt-Gray MF. 2002. AAPM/RSNA *Physics Tutorial for Residents – Topics in CT: Radiation Dose in CT*. Radiographics.
- [17] Medical, Siemens, 2006. *Computed Tomography History and Technology*. German.
- [18] Nagel.H.D.,PhD.,2004. *Multislice CT Technology*. [www.multislice-ct.com](http://www.multislice-ct.com)., Diakses pada tanggal 24 Maret 2012.
- [19] Nesseseth, Roland, MS., RT, (R) (CT) (MR)., RDMS, 2000. *Prosedure documentation for CT and MRI*, Medical publishing division, Kansas.
- [20] Pearce, E. C., 2004, *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*, Garamedia Pustaka Utama Jakarta.
- [21] Program Studi Diploma IV Teknik Radiologi Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Politeknik Kesehatan Depkes Semarang. 2012. *Pedoman Penulisan Tugas Akhir*. Semarang.
- [22] Rohen, Johannes, W, Adji Dharma, med, Drs, 1990. *Anatomi manusia, atlas fotografik*, edisi 2, EGC, Jakarta.
- [23] Seeram, Euclid. 2001. *Computed Tomography : Physical Principles Clinical Applications and Quality Control Second Edition*. W.B. Saunders Company. United Stated of America.
- [24] Siemens, 1998. *Spiral CT for SOMATOM Basic concepts of spiral scanning*. German.
- [25] Siemens, 2000. *Siemens Medical Solutions*. German.
- [26] Sofwanawati, Anna. 2010. Pengaruh Penggunaan *Slice Thickness* Terhadap *Noise* dan Dosis Radiasi



## KAJIAN PROGRAM JAMINAN MUTU RADIOTERAPI TEKNIK LANJUT AKSELERATOR LINEAR BERBASIS AAPM TASK GROUP NO. 142

Ahmad Maulana<sup>1</sup>, Mukhlisin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN, Jakarta

<sup>2</sup>Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN, Jakarta

e-mail: a.maulana@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Penggunaan pesawat radioterapi *Linear Accelerator (Linac)* untuk pengobatan pasien penderita kanker semakin kompleks dan meningkat. BAPETEN telah mengatur keselamatan radiasi radioterapi melalui Peraturan Kepala BAPETEN No.3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi. Kajian ini dilakukan untuk melengkapi Peraturan Kepala BAPETEN tersebut terkait dengan program jaminan mutu pesawat radioterapi Linac yang dapat membantu Fisikawan Medik melaksanakan tugasnya. Untuk memastikan agar dosis yang diterima pasien sesuai dengan yang direncanakan oleh *Treatment Planning System (TPS)*, pihak Rumah Sakit bertanggung jawab melaksanakan program jaminan mutu seperti yang dipersyaratkan dalam Pasal 15 ayat (2) huruf c Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013. Namun parameter program jaminan mutu untuk pesawat Linac belum sepenuhnya diakomodasi dalam Peraturan Kepala BAPETEN, sehingga perlu dikaji parameter program jaminan mutu untuk pesawat Linac teknik lanjut misalnya *Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT)* dan *Stereotactic RadioSurgery (SRS)*. *The American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group 142* telah mempublikasikan panduan tentang jaminan mutu untuk pesawat Linac. Berdasarkan AAPM TG 142 ada 3 (tiga) komponen parameter uji dalam program jaminan mutu pada pesawat radioterapi *Linac* yaitu Akurasi Dosimetri, Akurasi Mekanik dan Keselamatan Radiasi yang frekuensi pelaksanaannya dilakukan secara periodik yaitu harian, bulanan dan tahunan. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap regulasi BAPETEN terutama pada parameter uji jaminan mutu radioterapi dan dapat menjadi pedoman bagi Inspektur BAPETEN dan Fisikawan Medik rumah sakit dalam menerapkan program jaminan mutu radioterapi Linac teknik lanjut.

**Kata kunci:** Akselerator Linear (Linac), Fisikawan Medik, Radioterapi, Jaminan Mutu.

### ABSTRACT

*Utilization of radiotherapy linear accelerator (Linac) for treatment in cancer patients is increasing. BAPETEN has arranged the utilization of Radiotherapy through BAPETEN regulation No. 3 year 2013 on radiation safety in radiotherapy. This review was conducted to supplement the BAPETEN regulation related to quality assurance of Linac radiotherapy that can assist Medical Physicist to perform their duties. To ensure that the doses received by patients are in accordance with the planned by treatment planning system (TPS), the hospital is responsible for implementing the quality assurance program as required in BAPETEN regulation No.3 Year 2013 Article 15 paragraph 2.c. However, the parameters of Linac quality assurance have not been fully accommodated by BAPETEN regulation, thus it is necessary to further review the parameters of quality assurance for Linac such as Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT) and Stereotactic RadioSurgery (SRS). The American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group 142 has published guidelines on quality assurance for Quality Assurance of Medical Linac. Based on AAPM TG 142 there are 3 components in quality assurance test on Linac radiotherapy that are Accuracy Dosimetry, Mechanical Accuracy and Safety, whereas if seen from frequency, quality assurance divided into daily, monthly and yearly quality assurance. The results of this study are expected to provide input to BAPETEN regulation especially on parameters of radiotherapy quality assurance and may serve as guidelines for BAPETEN Inspectors and Medical Physicist in hospitals by implementing quality assurance program for advanced radiotherapy techniques.*

**Keywords:** Linear Accelerator, Medical Physicist, Radiotherapy, Quality Assurance.

### I. PENDAHULUAN

Radioterapi adalah metode pengobatan yang umum dan efisien yang digunakan untuk membunuh sel kanker ganas atau memperlambat pertumbuhannya [1]. Salah satu modalitas radioterapi yang cukup berkembang saat ini adalah Akselerator Linear (Linac).

Jaminan mutu menurut ISO 9000:2015 [2] adalah semua tindakan terencana dan sistematis yang

diperlukan untuk memberikan kepercayaan yang memadai bahwa suatu produk atau layanan akan memuaskan sesuai persyaratan mutu. Jaminan mutu dalam radioterapi adalah semua prosedur yang diperlukan untuk memastikan dosis radiasi yang diberikan tepat pada jaringan target tumor, dan minimal pada jaringan normal, serta meminimalkan dosis untuk pekerja radiasi dan publik [3].

Pemberian dosis radiasi berlebih pada pasien, di samping dapat membunuh sel kanker, dapat pula menimbulkan resiko kanker sekunder pada sel-sel jaringan sehat sekitar target kanker yang terkena paparan radiasi [4]. Untuk memastikan dosis radiasi yang diberikan tepat pihak rumah sakit wajib menjalankan program jaminan mutu.

Tujuan kajian ini adalah untuk memberikan masukan dan panduan terkait dengan serangkaian tes jaminan mutu pada radioterapi Linac teknik lanjut berdasarkan dokumen AAPM No. 142 [5] sebagai pemenuhan persyaratan Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan masukan terhadap regulasi BAPETEN terkait parameter uji jaminan mutu radioterapi dan dapat menjadi pedoman bagi Inspektur BAPETEN dan Fisikawan Medik rumah sakit dalam menerapkan program jaminan mutu radioterapi Linac teknik lanjut.

## II. LANDASAN TEORI

Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam penggunaan radioterapi dalam Pasal 15 ayat (2) huruf c disebutkan bahwa Pemegang Izin memiliki tanggung jawab untuk menyusun, menetapkan, mengembangkan, melaksanakan dan mendokumentasikan program jaminan mutu.

Dalam penerapan program jaminan mutu, personil yang berperan penting melaksanakannya yaitu Fisikawan Medik. Hal ini selaras dengan regulasi dalam Pasal 16 ayat (1) huruf b Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 bahwa salah satu persyaratan personil radioterapi adalah Fisikawan Medik. Adapun salah satu tugasnya seperti tertuang dalam Pasal 19 ayat (2) huruf h Perka BAPETEN tersebut adalah menerapkan program jaminan mutu Radioterapi.

Untuk dapat melaksanakan program jaminan mutu diperlukan panduan, di dalam AAPM TG 142 [5] yang merupakan pengembangan dari AAPM TG 40 yang memuat serangkaian tes jaminan mutu, yang dapat dijadikan panduan dan rekomendasi jaminan mutu untuk melengkapi Peraturan Kepala BAPETEN tersebut dan membantu Fisikawan Medik dalam melaksanakan tugasnya dalam menerapkan jaminan mutu untuk radioterapi teknik lanjut misalnya: *Intensity Modulated Radiotherapy (IMRT)*, *Volumetric Modulated Arch Therapy (VMAT)* dan *Stereotactic RadioSurgery (SRS)*, *Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT)*, dan *Total Body Irradiation (TBI)*.

AAPM TG 142 dipublikasi untuk menjawab kesenjangan pada AAPM TG 40, memberikan rekomendasi berdasarkan kinerja. Namun tetap menggabungkan konsep yang berorientasi pada proses dan kemajuan teknologi Linac sejak tahun 1994. Selain itu, Peraturan Kepala BAPETEN No. 21 Tahun 2002 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi radioterapi belum sepenuhnya mengakomodir program jaminan mutu untuk radioterapi Linac.

AAPM TG 142 tentang jaminan mutu akselerator linear medis disusun oleh *The American Association of Physicists in Medicine's (AAPM) Science*

*Council* di bawah arahan *Radiation Therapy Committee the Quality Assurance and Outcome Improvement Subcommittee*. Sejak diterbitkan AAPM TG 40 pada tahun 1994, beberapa teknologi baru telah berkembang dan saat ini biasa digunakan pada praktik klinis radioterapi teknik lanjut. Teknologi ini termasuk *jaw asymmetry*, *multileaf collimation (MLC)*, dan *wedge dinamis/virtual*.

AAPM TG-142 memiliki dua tugas utama, yaitu pertama untuk memperbarui, sesuai kebutuhan, rekomendasi dari Tabel II pada AAPM TG-40 tentang jaminan mutu dan kedua untuk menambahkan rekomendasi untuk teknologi baru seperti *jaw asymmetry*, *multileaf collimation (MLC)*, *wedge dinamis/virtual*, sistem pencitraan (*imaging system*), manajemen sistem pernapasan (*gating/tracking*) dan prosedur baru seperti SRS, SBRT, TBI dan IMRT.

Komponen tes jaminan mutu pada pesawat radioterapi Linac dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Akurasi Dosimetri;
2. Akurasi Mekanik; dan
3. Keselamatan.

Adapun ditinjau dari frekuensi tes jaminan mutu dibagi menjadi jaminan mutu harian, bulanan dan tahunan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Makalah ini membahas serangkaian jenis tes jaminan mutu yang dilaksanakan pada pesawat radioterapi Linac, selain itu juga membahas perbandingan parameter uji berdasarkan rekomendasi AAPM TG 40 dan AAPM TG 142.

Struktur dari AAPM TG 142 terdiri atas 3 bagian, meliputi:

### I. Pendahuluan

- I.A. Tujuan
- I.B. Latar Belakang.

### II. Jaminan Mutu Akselerator Linear

- I.A. Umum
- II.B. Uji frekuensi
- II.C. Pedoman untuk nilai toleransi
  - II.C.1. Standar prosedur pengujian penerimaan
  - II.C.2. Menugaskan nilai dasar
  - II.C.3. Toleransi dan tingkat tindakan
  - II.C.4. Ketidakpastian, pengulangan, dan presisi
- II.D. Alat perawatan tambahan tidak di TG-40
  - II.D.1. Jaw Asimetris
  - II.D.2. Buka dinamis / virtual / universal
  - II.D.3. MLC
  - II.D.4. TBI / TSET
  - II.D.5. Pencitraan radiografi
  - II.D.6. *Gating* pernapasan

### III. Ringkasan Rekomendasi

#### Skema Implementasi

Perbandingan parameter uji AAPM TG 40 dan AAPM TG 142 ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Perbandingan parameter uji bulanan memuat uji dosimetri, *interlock*, dan mekanik, sedangkan untuk perbandingan parameter uji tahunan hanya memuat uji dosimetri. Hal yang mendasar pada rekomendasi AAPM TG 142 adalah tentang nilai toleransi yang lebih ketat dibandingkan AAPM TG 40 yaitu parameter *x-ray beam flatness constancy*, *Electron beam flatness constancy*, *x-ray and electron symmetry*, *Field size*

indicators, Cross-hair centering, and Treatment couch position indicators untuk uji bulanan, sedangkan untuk uji tahunan meliputi parameter *x-ray/electron output calibration constancy*, *Central axis parameter constancy (PDD,TAR)*, *Off-axis factor constancy*, *x-ray output constancy vs gantry angle*, *Electron output constancy vs gantry angle*, and *Off-axis factor constancy vs gantry angle*.

Jenis tes jaminan AAPM TG 142 secara periodik harian, bulanan dan tahun dideskripsikan dalam Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5. Parameter uji pada AAPM TG 142 pada dasarnya menggantikan parameter uji dari AAPM TG-40, tetapi dengan ruang lingkup dan jumlah variabel pengujian yang meningkat dibanding dengan AAPM TG-40. Tabel dibedakan menjadi non-IMRT atau Linac nonstereotactic, IMRT, dan IMRT/stereotactic.

AAPM TG 142 menganggap bahwa semua jenis tes jaminan mutu yang tertera dalam Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 adalah penting untuk memastikan peralatan Linac layak dioperasikan dengan kualitas tinggi dan menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja radiasi, masyarakat dan pasien. Misalnya, pada uji akurasi penempatan *physical wedge*, Tabel 4 tertulis nilai toleransi tes bulanan sebesar 2 mm. Penyimpangan lebih dari 2 mm dapat mengakibatkan kesalahan sebesar 2%.

Selain itu AAPM TG 142 juga memuat parameter uji jaminan mutu tambahan yang lebih spesifik yaitu untuk *dynamic/virtual/universal wedges* diberikan panduan seperti yang tertera dalam Tabel 6, *Multi Leaf Collimator/MLC* tertera dalam Tabel 7 dan *imaging* tertera dalam Tabel 8.

Tes Jaminan mutu harian adalah tes yang dilakukan pada parameter yang dapat mempengaruhi dosis pasien yaitu aspek dosimetri (konsistensi keluaran), geometri (laser, *optical distance indicator*, luas lapangan) dan termasuk peralatan pemantauan secara audiovisual pasien dan pengujian *interlock* pintu. Tes harian biasanya dilakukan oleh Fisikawan Medik pada pagi hari saat melakukan *warming-up* sebelum dilaksanakan penyinaran radioterapi atau dapat dilakukan oleh Radioterapis yang telah dilatih oleh Fisikawan Medik.

Adapun tes bulanan dan tahunan dilakukan oleh Fisikawan Medik sesuai dengan parameter yang tertera dalam Tabel 4 dan 5. Berdasarkan Tabel 5 nilai toleransi beberapa parameter didasarkan pada nilai *baseline*. Nilai *baseline* adalah nilai yang didapat saat tes keberterimaan (*acceptance test*) dan *commissioning test* pada saat awal install pesawat Linac.

Bagian terpenting dari kegiatan jaminan mutu harian, bulanan dan tahunan yaitu pencatatan, semua kegiatan tersebut harus tercatat dan terdokumentasi dengan baik dan rapi.

**Tabel 1.** Perbandingan Parameter Uji AAPM TG 40 vs AAPM TG 142 Bulanan

	Monthly	
	TG-40	TG-142
<i>Dosimetry</i>		

<i>x-ray central axis dosimetry parameter (PDD,TAR) constancy</i>	2%	Removed
<i>Electron central axis dosimetry parameter constancy (PDD)</i>	2 mm	2%/2 mm
<i>x-ray beam flatness constancy</i>	2%	1%
<i>Electron beam flatness constancy</i>	3%	1%
<i>x-ray and electron symmetry</i>	3%	1%
<b>Interlock Checks</b>		
<i>Emergency Off</i>	Functional	Removed
<i>Wedge, "cone"</i>	Functional	
<b>Mechanical</b>		
<i>Light/Radiation field coincidence</i>	2 mm or 1 %/side	only if clinical setups performed
<i>Field size indicators</i>	2 mm	1 mm/side
<i>Cross-hair centering</i>	2 mm	1 mm
<i>Treatment couch position indicators</i>	2 mm/ 1 deg	Tighter for SRS/SBRT

**Tabel 2.** Perbandingan Parameter Uji AAPM TG 40 vs AAPM TG 142 Tahunan

	Annual	
	TG-40	TG-142
<b>Dosimetry</b>		
<i>x-ray/electron output calibration constancy</i>	2%	+1%
<i>Field size dependence of x-ray output constancy</i>	2%	Spot check 2 or more FS
<i>Output factor constancy for electron applicators</i>	2%	Combination of energies & applicators
<i>Central axis parameter constancy (PDD,TAR)</i>	2%	+1% for TG-51 purpose
<i>Off-axis factor constancy</i>	2%	+1% from baseline
<i>Wedge transmission factor constancy</i>	2%	unique for wedge systems
<i>Monitor chamber linearity</i>	2%	unique for delivery systems
<i>x-ray output constancy vs gantry angle</i>	1%	+1% from baseline
<i>Electron output constancy vs gantry angle</i>	2%	+1% from baseline
<i>Off-axis factor constancy vs gantry angle</i>	2%	+1% from baseline

Tabel 3. Jaminan Mutu Harian

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
<b>Dosimetry</b>			
X-ray output constancy (all energies)			
Electron output constancy (weekly except for machines with unique e-monitoring requiring daily)		3%	
<b>Mechanical</b>			
Laser localization	2 mm	1.5 mm	1 mm
Distance Indicator (ODI) @ iso	2 mm	2 mm	2 mm
Collimator size indicator	2 mm	2 mm	1 mm
<b>Safety</b>			
Door interlock (beam off)		Functional	
Door closing safety		Functional	
Audiovisual monitor(s)		Functional	
Stereotactic interlocks (lockout)	NA	NA	Functional
Radiation area monitor (if used)		Functional	
Beam on indicator		Functional	

Tabel 4. Jaminan Mutu Bulanan

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
<b>Dosimetry</b>			
X-ray output constancy			
Electron output constancy		2%	
Backup monitor chamber constancy			
Typical dose rate output constancy U	NA	2% (@ IMRT dose rate)	2% (@ stereo dose rate, MU)
Photon beam profile constancy		1%	
Electron beam profile constancy		1%	
Electron beam energy constancy		2%/2 mm	
<b>Mechanical</b>			
Light/radiation field coincidence		2 mm or 1% on a side	
Light/radiation field coincidence (asymmetric)		1 mm or 1% on a side	
Distance check device for lasers compared with front pointer		1mm	
Gantry/collimator angle indicators (@ cardinal angles) (digital only)		1.0°	
Accessory trays (i.e., port film graticle tray)		2 mm	
Jaw position indicators (symmetric)		2 mm	
Jaw position indicators (asymmetric)		1 mm	
Cross-hair centering (walkout)		1 mm	
Treatment couch position indicators	2 mm/1°	2 mm/1°	1 mm/0.5°
Wedge placement accuracy		2 mm	
Compensator placement accuracy		1 mm	
Latching of wedges, blocking tray		Functional	

Localizing lasers  $\pm 2$  mm  $\pm 2$  mm  $< \pm 1$  mm

**Safety**

Laser guard-interlock test Functional

**Respiratory gating**

Beam output constancy 2%

Phase, amplitude beam control Functional Functional

In-room respiratory monitoring system Functional Functional

Gating interlock Functional Functional

**Tabel 5. Jaminan Mutu Tahunan**

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
<b>Dosimetry</b>			
X-ray flatness change from baseline		1%	
X-ray symmetry change from baseline		$\pm 1$ %	
Electron flatness change from baseline		1%	
Electron symmetry change from baseline		$\pm 1$ %	
SRS arc rotation mode (range: 0.5–10 MU/deg)	NA	NA	Monitor units set vs delivered: 1.0 MU or 2% (whichever is greater) Gantry arc set vs delivered: 1.0° or 2% (whichever is greater)
X-ray/electron output calibration (TG-51)		$\pm 1$ % (absolute)	
Spot check of field size dependent output factors for x ray (two or more FSs)		2% for field size $< 4 \times 4$ cm <sup>2</sup> , 1% $\geq 4 \times 4$ cm <sup>2</sup>	
Output factors for electron applicators (spot check of one applicator/energy)		$\pm 2$ % from baseline	
X-ray beam quality (PDD10 or TMR10)		$\pm 1$ % from baseline	
Electron beam quality (R50)		$\pm 1$ mm	
Physical wedge transmission factor constancy		$\pm 2$ %	
X-ray monitor unit linearity output constancy	$\pm 2$ % $\geq 5$ MU	$\pm 5$ % (2–4 MU), $\pm 2$ % $\geq 5$ MU	$\pm 5$ % (2–4 MU), 2% $\geq 5$ MU
Electron monitor unit linearity output constancy		2% $\geq 5$ MU	
X-ray output constancy vs dose rate		$\pm 2$ % from baseline	
X-ray output constancy vs gantry angle		$\pm 1$ % from baseline	
Electron output constancy vs gantry angle		$\pm 1$ % from baseline	
Electron and x-ray off-axis factor constancy vs gantry angle		$\pm 1$ % from baseline	
Arc mode (expected MU, degrees)		$\pm 1$ % from baseline	
TBI/TSET mode		Functional	
PDD or TMR and OAF constancy		1% (TBI) or 1 mm PDD shift (TSET) from baseline	
TBI/TSET output calibration		$\pm 2$ % from baseline	
TBI/TSET accessories		$\pm 2$ % from baseline	
<b>Mechanical</b>			
Collimator rotation isocenter		$\pm 1$ mm from baseline	
Gantry rotation isocenter		$\pm 1$ mm from baseline	
Couch rotation isocenter		$\pm 1$ mm from baseline	
Electron applicator interlocks		Functional	
Coincidence of radiation and mechanical isocenter	$\pm 2$ mm from baseline	$\pm 2$ mm from baseline	$\pm 1$ mm from baseline
Table top sag		2 mm from baseline	
Table angle		1°	
Table travel maximum range movement in all directions		$\pm 2$ mm	
Stereotactic accessories, lockouts, etc.	NA	NA	Functional

**Safety**

Follow manufacturer's test procedures

Functional

**Respiratory gating**

Beam energy constancy

2%

Temporal accuracy of phase/amplitude gate on

100 ms of expected

Calibration of surrogate for respiratory phase/amplitude

100 ms of expected

Interlock testing

Functional

**Tabel 6.** Jaminan mutu pada *dynamic/virtual/universal wedges*

<i>Dynamic-including EDW Varian , virtual Siemens , universal Elekta wedge quality assurance</i>				
		<i>Tolerance</i>		
<i>Frequency</i>	<i>Procedure</i>	<i>Dynamic</i>	<i>Universal</i>	<i>Virtual</i>
<b>Daily</b>	Morning check-out run for one angle		Functional	
<b>Monthly</b>	Wedge factor for all energies	C.A. axis 45° or 60° WF within 2% a	C.A. axis 45° or 60° WF within 2%	5% from unity, otherwise 2%
<b>Annual</b>	Check of wedge angle for 60°, full field and spot check for intermediate angle, field size	Check of off-center ratios @ 80% field width @ 10 cm to be within 2%		

**Tabel 7.** Jaminan mutu pada *MLC*

<i>Frequency</i>	<i>Procedure</i>	<i>Tolerance</i>
<b>Weekly ( IMRT machines )</b>	Qualitative test i.e., matched segments, aka "picket fence"	Visual inspection for discernable deviations such as an increase in interleaf transmission
<b>Monthly</b>	Setting vs radiation field for two patterns non-IMRT	2 mm
	Backup diaphragm settings Elekta only	2 mm
	Travel speed IMRT	Loss of leaf speed > 0.5 cm/ s
	Leaf position accuracy IMRT	Loss of leaf speed 0.5 cm/ s 1 mm for leaf positions of an IMRT field for four cardinal gantry angles. (Picket fence test may be used, test depends on clinical planning-segment size)
<b>Annually</b>	MLC transmission average of leaf and interleaf transmission , all energies	±0.5% from baseline
	Leaf position repeatability	±1.0 mm
	MLC spoke shot	≤1.0 mm radius
	Coincidence of light field and x-ray field (all energies)	±2.0 mm
	Segmental IMRT (step and shoot) test	<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm
	Moving window IMRT (four cardinal gantry angles)	<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm

Tabel 8. Jaminan mutu pada *Imaging*

Procedure	Application-type Tolerance	
	non-SRS/SBRT	SRS/SBRT
	<b>Daily</b>	
<b>Planar kV and MV (EPID) imaging</b>		
Collision interlocks	Functional	Functional
Positioning/repositioning	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Imaging and treatment coordinate coincidence (single gantry angle)	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
<b>Cone-beam CT (kV and MV)</b>		
Collision interlocks	Functional	Functional
Imaging and treatment coordinate coincidence	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Positioning/repositioning	$\leq 1$ mm	$\leq 1$ mm
	<b>Monthly</b>	
<b>Planar MV imaging (EPID)</b>		
Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Scaling	$\leq 2$ mm	$\leq 2$ mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
<b>Planar kV imaging</b>		
Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Scaling	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
<b>Cone-beam CT (kV and MV)</b>		
Geometric distortion	$\leq 2$ mm	$\leq 1$ mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
HU constancy	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline
	<b>Annual</b>	
<b>Planar MV imaging (EPID)</b>		
Full range of travel SDD	$\pm 5$ mm	$\pm 5$ mm
Imaging dose	Baseline	Baseline
<b>Planar kV imaging</b>		
Beam quality/energy	Baseline	Baseline
Imaging dose	Baseline	Baseline
<b>Cone-beam CT (kV and MV)</b>		
Imaging dose	Baseline	Baseline

Kompleksitas radioterapi teknik lanjut seperti IMRT dan SRS dikaitkan dengan berbagai ketidakpastian [6]. Ketidakpastian dapat mengarah pada ketidakakuratan dalam pemberian dosis yang berimplikasi pada kontrol tumor, morbiditas dan toksisitas pengobatan [7]. Jaminan Kualitas (QA) dalam proses perencanaan pengobatan radioterapi sangat penting untuk memastikan bahwa perhitungan dosis dilakukan dengan tepat dan akurat serta untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya kecelakaan radiasi [8].

Berdasarkan aspek klinis bahwa setiap perencanaan dosis radioterapi melalui *Treatment Planning System (TPS)* akan dihasilkan informasi mengenai dosis target tumor dan organ at risk yang direpresentasikan dalam bentuk kurva *dose volume histogram (DVH)*. Kurva DVH tersebut dapat dianalisis homogenitas dosis pada target tumor melalui perhitungan nilai Homogeneity Index (HI) dengan Persamaan bahwa  $HI = (D_{2\%} - D_{98\%})/D_{50\%}$ , dengan  $D_{2\%}$  adalah dosis maksimum (cGy),  $D_{98\%}$  adalah dosis minimum (cGy), dan  $D_{50\%}$  adalah dosis median (cGy). Berdasarkan referensi ICRU bahwa nilai HI untuk teknik lanjut radioterapi IMRT lebih kecil dibandingkan teknik radioterapi konvensional seperti Teleterapi Cobalt 60, semakin kecil nilai HI indeks maka homogenitas dosis pada target tumor lebih baik. Oleh sebab itu, untuk menjamin performa kinerja pesawat Linac untuk teknik radioterapi lanjut dipandang perlu dilakukan Uji Kendali Mutu secara periodik harian, bulanan dan tahunan untuk parameter uji dosimetri, mekanik, dan fitur keselamatan radiasi dengan mengacu pada rekomendasi AAPM TG 142.

#### IV. KESIMPULAN

Penerapan program jaminan mutu pada radioterapi adalah tugas semua pihak yang terkait khususnya Fisikawan Medik, dengan menerapkan program jaminan mutu yaitu di antaranya dengan melakukan secara rutin tes jaminan mutu harian, bulanan dan tahunan sehingga tercapai ketepatan pemberian dosis yaitu dosis yang maksimal pada jaringan target dan dosis seminimal mungkin untuk jaringan normal dan paparan pada personil.

Parameter yang mempengaruhi ketepatan dosis terapi yaitu kalibrasi detektor, kalibrasi output pesawat Linac, verifikasi posisi pasien setiap kali penyinaran, dan immobilisasi pasien. Kemungkinan yang dapat mengakibatkan kecelakaan atau penyinaran yang tidak perlu harus dihindarkan dengan melakukan tes jaminan mutu harian, bulanan dan tahunan secara rutin.

Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dijadikan sebagai masukan bagi Badan Pengawas dalam penerapan program jaminan mutu melalui penerapan program jaminan mutu pada saat evaluasi dokumen perizinan terkait pemenuhan persyaratan dokumen program jaminan mutu dan inspeksi di lapangan mengenai implementasi program jaminan mutu di fasilitas, serta diharapkan dapat membantu tugas Fisikawan Medik dalam melaksanakan tugasnya terkait keselamatan radiasi pada bidang radioterapi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Korhonen L, "Methods For Dose Calculation And Beam Characterization In External Photon Beam Radiotherapy" Helsinki University of Technology.TKK Dissertations 197. Finland (2009).
- [2] Quality Management System, ISO 9000, (2015).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance in Radiotherapy, IAEA-TECDOC-1040, Vienna (1997).
- [4] E. J. Hall and C.-S. Wu, "Radiation-induced second cancers: The impact of 3D-CRT and IMRT," *Int. J. Radiat., Oncol., Biol., Phys.* 56(1), 83–88 (2003).
- [5] Klein et al., Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators, *Am. Assoc. Phys. Med.* Vol. 36, No. 9, (2009)
- [6] Swinnen, A., Verstraete, J., & Huyskens, D. P., The use of a multipurpose phantom for mailed dosimetry checks of therapeutic photon beams: 'OPERA' (operational phantom for external radiotherapy audit) *Radiotherapy and Oncology*, 64(3), 317-326 (2002).
- [7] Ebert, M., Harrison, K., Cornes, D., Howlett, S., Joseph, D., Kron, T., . . . Denham, J. (2009). Comprehensive Australasian multicenter dosimetric intercomparison: issues, logistics and recommendations. *Journal of medical imaging and radiation oncology*, 53(1), 119-131 (2009).
- [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons learned from accidental exposures in radiotherapy, safety reports series no. 17. Vienna: International Atomic Energy Agency (2000).



## ANALISA PENERIMAAN DOSIS SERAP ORGAN REPRODUKSI PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI ABDOMEN ANTARA PENGGUNAAN TEKNIK kV RENDAH DAN TEKNIK kV TINGGI

Rini Indrati<sup>1</sup>, Rika Sumala<sup>2</sup>, Sudiyono<sup>3</sup>, Siti Daryati<sup>4</sup>

<sup>1,3,4</sup> Poltekkes Kemenkes Semarang <sup>3</sup> RS Ken Saras Semarang

e-mail: riniindrati@poltekkes-smg.ac.id

### ABSTRAK

Abdomen merupakan suatu objek yang tebal, oleh karena itu diperlukan pengaturan faktor ekposi yang tinggi. Tegangan tabung (kV) merupakan salah satu faktor ekposi yang berpengaruh terhadap daya tembus tetapi juga berpengaruh terhadap dosis pasien. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan dosis serap organ reproduksi pada pemeriksaan radiografi abdomen dengan menggunakan teknik kV rendah dan teknik kV tinggi. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental. Penelitian ini dilakukan di Instalasi Radiologi RSUD Ken Saras Semarang. Penelitian dilakukan dengan pengaturan ekposi terhadap phantom abdomen yang telah dipasang *Thermoluminescensi Dosimeter* (TLD) pada organ reproduksi. Ekposi dilakukan dengan mengatur faktor ekposi dengan menggunakan teknik kV rendah dan teknik kV tinggi. Analisa data dilakukan secara diskriptif dengan membandingkan nilai dosis dengan nilai bats yang ditetapkan. Perbedaan penerimaan dosis oleh ovarium dan testis dilakukan dengan paired t-test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan penerimaan dosis serap organ reproduksi pada pemeriksaan abdomen antara penggunaan kV standar dan kV tinggi, dengan menggunakan kV rendah dosis pada permukaan kulit daerah ovarium 1,46602 mSv dan pada testis 0,02564 mSv. Dengan kV tinggi dosis pada permukaan kulit daerah ovarium sebesar 0,59928 mSv dan pada testis 0,03777 mSv. Terdapat perbedaan penerimaan dosis oleh ovarium antara teknik kV rendah dan teknik kV Tinggi dengan p-value < 0,001 Dengan perbedaan rata-rata dosis sebesar 0,86673 (CI 95% : 0,81295 – 0,92051). Terdapat perbedaan penerimaan dosis oleh testis antara teknik kV rendah dan teknik kV tinggi dengan p-value < 0,001 dengan perbedaan rata-rata 0,01487 (CI 95% : 0,01335 – 0,016379) Penerimaan dosis serap organ reproduksi lebih rendah pada penggunaan teknik kV tinggi dibandingkan dengan teknik kV rendah.

Kata Kunci : *Pemeriksaan Abdomen, Tegangan tabung (kV), Dosis Serap Organ Reproduksi*

### ABSTRACT

*The abdomen was a thick object, therefore it required high exposure factors. Tube voltage (kV) was exposure factors that influenced the penetration and also doses. The main purpose of this research was to know difference absorbed dose reproductive organs in abdomen examination between used low kV technique and high kV technique. This design of research was quantitative experimental. The research was done in Radiology Installation Ken Saras Semarang Hospital. The research was done by exposure abdomen phantom that has been given Thermoluminescent Dosimeter (TLD) with a variety of exposure factors Low kV Technique and high kV Technique. Analysis of the data with descriptive statistic and paired t-test. The result showed that there was the difference in the acceptance of absorbed dose in reproductive organs in the abdominal examination of the used of low kV and high kV technique. There were used low kV dose of the skin surface above ovary 1,46602 mSv and the testis 0,02564 mSv. There was a difference of ovarian dose acceptance between low kV technique and high kV technique with p-value <0.001 and mean difference of dose was 0.86673 (95% CI: 0.81295 - 0.92051). There is a different dose acceptance by testes between low kV techniques and high kV techniques with p-value <0.001 and difference in mean dose 0.01487 (95% CI: 0.01335 - 0.016379) Receptive dose absorption of reproductive organs is lower in use High kV techniques compared with the use of low kV techniques.*

**Keywords:** *Abdominal examination, the tube voltage (kV), Absorbed Radiation Dose, Reproductive Organs*

### I. PENDAHULUAN

Dalam pembuatan suatu radiograf untuk penegakan diagnosa diperlukan kualitas yang baik. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas radiograf adalah faktor ekposi. Faktor ekposi harus diatur agar dapat menghasilkan kualitas radiograf yang baik dengan penerimaan dosis radiasi pada pasien yang seminimal mungkin sesuai dengan prinsip

ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Pemanfaatan sumber radiasi selalu menghendaki adanya penerimaan dosis yang serendah mungkin terhadap pasien, pekerja radiasi maupun masyarakat [1].

Faktor ekposi terdiri atas tegangan tabung (kV), arus tabung (mA) dan waktu penyinaran (s) [2]. Pengaturan faktor ekposi yang tepat dapat

menghasilkan kontras radiograf yang optimal. Tegangan tabung menentukan kualitas radiasi atau daya tembus sinar-X yang dihasilkan. Arus tabung menentukan jumlah elektron yang melewati target sehingga dihasilkan sinar-X yang intensitas dan energinya cukup untuk menembus organ. Waktu penyinaran menentukan kuantitas sinar-X yang dihasilkan.

Abdomen yang merupakan rongga terbesar dalam tubuh, terdiri atas dua bagian, yaitu abdomen bagian atas dan abdomen bagian bawah. Abdomen bagian bawah terdiri atas tulang-tulang penyusun rongga pelvis dan organ reproduksi [3]. Organ reproduksi (testis dan ovarium) merupakan salah satu organ yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap radiasi. Penerimaan dosis radiasi untuk pemeriksaan abdomen oleh organ reproduksi pria (testis) adalah tidak lebih dari 100 mrad (1 mSv) dan untuk sistem reproduksi wanita (ovarium) 200 mrad (2 mSv) [4]. Nilai minimal penerimaan dosis untuk menimbulkan efek non stokastik tidak boleh melebihi 10 rad (0,1 mSv) pada organ reproduksi [5].

Pemeriksaan radiografi organ abdomen yang biasa dilakukan pada praktek klinik menggunakan tegangan tabung 66–74 kV. Teknik kV tinggi adalah pemeriksaan radiografi dengan menggunakan tegangan tabung antara 100 kV sampai dengan 150 kV [6]. Salah satu kelebihan teknik kV tinggi adalah dapat menghasilkan radiograf yang memiliki ketajaman dan detail yang lebih baik dari kV rendah. Teknik kV rendah adalah pengaturan kV < 100 kV [7]. Penggunaan kV tinggi juga dapat mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien [2].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai dosis serap yang diterima oleh organ reproduksi pada pemeriksaan radiografi abdomen proyeksi AP dengan menggunakan kV rendah dan kV tinggi. Diharapkan radiografer dapat memilih metode pengaturan faktor eksposi (kV) yang dapat mengurangi terimaan dosis oleh pasien terutama pada organ organ sensitif.

## II. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif bersifat eksperimental. Jumlah sampel sebanyak 10 ditentukan untuk eksperimen sederhana [8]. Dua jenis phantom radiografi abdomen digunakan dalam penelitian ini. Desain Eksperimen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_1 &\longrightarrow O_1, O_2 \\ X_2 &\longrightarrow O_3, O_4 \end{aligned}$$

$X_1$  : pengaturan kV pada teknik kV rendah

$X_2$  : pengaturan kV pada teknik kV tinggi

$O_1$  : dosis pada ovarium pada teknik kV rendah

$O_2$  : dosis pada testis pada teknik kV rendah

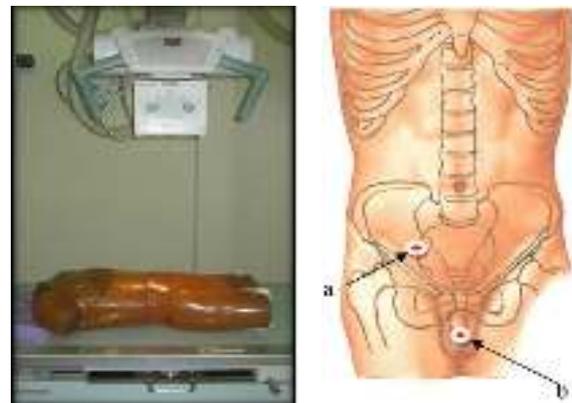
$O_3$  : dosis pada ovarium pada teknik kV tinggi

$O_4$  : dosis pada testis pada teknik kV tinggi

Pada setiap phantom dilakukan dua kali eksposi masing masing dengan menggunakan teknik kV rendah dan teknik kV tinggi. Pengaturan faktor eksposi pada kV rendah adalah kV yang biasa digunakan dalam pemeriksaan abdomen rutin pada klinik. Tegangan tabung dan arus tabung diatur masing masing pada 66 kV 25 mAs, 68 kV 22 mAs, 70 kV 20 mAs, 72 kV 18 mAs dan 74 kV 16 mAs sehingga dapat menghasilkan radiograf sesuai dengan kriteria radiograf abdomen yang baik. Pada teknik kV tinggi, tegangan tabung dan arus tabung diatur pada 100 kV 5 mAs, 102 kV 4,4 mAs, 104 kV 4,0 mAs, 106 kV 3,8 mAs dan 108 kV 3,6 mAs. Perhitungan mAs pada kedua teknik dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{mAs_2}{mAs_1} = \left(\frac{kV_1}{kV_2}\right)^4$$

Radiograf dibuat dengan mengatur jarak penyinaran *Focus Film Distance* (FFD) = 100 cm.



**Gambar. 1 A.** Posisi phantom pada pembuatan radiograf Abdomen **B.** Pengaturan letak TLD a pada posisi organ reproduksi wanita (ovarium), b. organ reproduksi pria (testis)

TLD diletakkan pada daerah testis dan daerah ovarium. Eksposi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali untuk setiap teknik pengaturan kV. Pesawat Sinar-X merk GE dan Imaging Plate merk Agfa digunakan dalam pembuatan radiograf. Pengolahan radiograf dilakukan dengan Computer Radiografi tanpa dilakukan editing. Kriteria penerimaan radiograf adalah dapat menampakkan gambaran abdomen tanpa ada rotasi, terlihat diafragma, terlihat simpisis pubis, terlihat columna vertebra thorakal 11-12 dan lumbal 1-5, terlihat gambaran pelvis dan koksigeus. Penilaian Radiograf dilakukan oleh dokter spesialis Radiologi. Data berupa dosis dikumpulkan dengan cara mengamati nilai dosis yang diterima phantom dengan melihat hasil pembacaan TLD. Pembacaan TLD dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) dengan faktor kalibrasi 0,42 dalam mSv / nC. Analisa data dilakukan secara diskriptif dengan membandingkan dengan Statkiewicz [4] dan secara analitik dengan paired t-test untuk membandingkan kebermaknaan perbedaan terimaan dosis dari dua metode pengaturan tegangan

tabung (kV) antara teknik kV rendah dan teknik kV tinggi dengan tingkat kemaknaan 95 %.

### III. HASIL PENELITIAN

Hasil pengukuran dosis serap pada organ reproduksi dengan menggunakan dosimeter TLD dinyatakan dalam mSv. Hasil pengukuran dosis yang diterima oleh Organ reproduksi (testis dan ovarium) sebagai berikut :

**Tabel 1.** Penerimaan Dosis Ovarium pada kV Rendah dan kV Tinggi

No	kV Rendah			kV Tinggi		
	kV	Ovarium* (mSv)		kV	Ovarium* (mSv)	
1	66	1,63664 ± 0,03412		100	0,67662 ± 0,01504	
2	68	1,50899 ± 0,02524		102	0,65728 ± 0,03177	
3	70	1,49071 ± 0,01054		104	0,62369 ± 0,04854	
4	72	1,45497 ± 0,04186		106	0,53602 ± 0,01100	
5	74	1,25449 ± 0,02957		108	0,52863 ± 0,02031	
6	66	1,60063 ± 0,02003		100	0,62483 ± 0,03443	
7	68	1,51047 ± 0,00529		102	0,64397 ± 0,02261	
8	70	1,48841 ± 0,02386		104	0,60195 ± 0,00416	
9	72	1,35912 ± 0,01222		106	0,55765 ± 0,01069	
10	74	1,35573 ± 0,03430		108	0,54213 ± 0,01017	
<b>Rata-rata</b>		<b>1,46602 ± 0,02370</b>			<b>0,59928 ± 0,02087</b>	

Dari tabel 1 menunjukkan bahwa pada pemeriksaan abdomen proyeksi AP dosis yang diterima oleh ovarium pada kV rendah sebesar  $1,466017 \pm 0,02370$  mSv sedangkan pada teknik kV tinggi sebesar  $0,599277 \pm 0,02087$  mSv. Hasil Uji paired t-test menunjukkan terdapat perbedaan penerimaan dosis oleh ovarium antara kV rendah dengan kV tinggi dengan p-value < 0,001 dengan tingkat kemaknaan 95%. Dengan perbedaan rata-rata dosis sebesar 0,86673 (CI 95% : 0,81295 – 0,92051) dosis yang diterima oleh ovarium pada teknik kV rendah lebih besar dibandingkan dengan teknik kV tinggi.

**Tabel 2.** Penerimaan Dosis Testis pada kV rendah dan kV tinggi

No	kV Rendah			kV Tinggi		
	kV	Testis (mSv)		kV	Testis (mSv)	
1	66	0,05641 ± 0,00681		100	0,04014 ± 0,00416	
2	68	0,05511 ± 0,01453		102	0,03879 ± 0,01115	
3	70	0,05464 ± 0,01375		104	0,03754 ± 0,00611	
4	72	0,04824 ± 0,01021		106	0,03588 ± 0,00624	
5	74	0,04722 ± 0,01290		108	0,03557 ± 0,00608	
6	66	0,05561 ± 0,00252		100	0,03973 ± 0,00416	
7	68	0,05494 ± 0,00436		102	0,03796 ± 0,01002	
8	70	0,05371 ± 0,00603		104	0,03754 ± 0,00404	
9	72	0,05067 ± 0,00300		106	0,03744 ± 0,00361	
10	74	0,04982 ± 0,00987		108	0,03713 ± 0,01473	
<b>Rata-rata</b>		<b>0,05264 ± 0,00840</b>			<b>0,03777 ± 0,00703</b>	

Dari tabel 2 menunjukkan bahwa pada pemeriksaan abdomen proyeksi AP dosis yang diterima oleh testis pada kV rendah sebesar  $0,05264 \pm 0,00840$  mSv sedangkan pada teknik kV tinggi sebesar  $0,03777 \pm 0,00703$  mSv. Hasil Uji paired t-test menunjukkan terdapat perbedaan penerimaan dosis oleh testis antara kV rendah dengan kV tinggi dengan p-value < 0,001 pada tingkat kemaknaan 95%. Dengan perbedaan rata-rata  $0,01487$  (CI 95%:  $0,01335 - 0,016379$ ) dosis yang diterima oleh testis pada pemeriksaan abdomen dengan menggunakan teknik kV rendah lebih besar dibandingkan dengan teknik kV tinggi.

### IV. PEMBAHASAN

Dosis serap rata-rata yang diterima oleh organ reproduksi pada pemeriksaan abdomen proyeksi AP dengan menggunakan kV rendah, yaitu yang rutin digunakan (66–74 kV) adalah  $1,46602$  mSv pada permukaan kulit setinggi ovarium, sedangkan pada penggunaan teknik kV tinggi dosis yang diterima oleh ovarium sebesar  $0,59928$  mSv. Menurut Statkiwieczk penerimaan dosis untuk ovarium pada pemeriksaan abdomen maksimal sebesar 2 mSv, sehingga dosis ini tidak melampaui dosis yang ditetapkan [4]. Penerimaan rata-rata dosis pada testis dengan menggunakan teknik kV rendah adalah  $0,05264$  mSv, sedangkan pada penggunaan teknik kV tinggi rata-rata dosis yang diterima oleh testis sebesar  $0,03777$  mSv. Rata-rata dosis yang diterima testis tersebut masih lebih rendah dari yang ditetapkan yaitu < 1 mSv untuk sistem reproduksi pria. Penerimaan dosis pada ovarium lebih tinggi dari pada testis dikarenakan letak ovarium pada rongga pelvis, sedangkan testis berada diluar rongga pelvis [9]. Penerimaan dosis pada ovarium lebih besar karena ovarium masuk dalam lapangan penyinaran.

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pada penggunaan teknik kV tinggi akan menyebabkan dosis yang diterima oleh testis maupun pada permukaan kulit ovarium lebih rendah dibandingkan dengan dosis yang diterima dengan penggunaan teknik kV rendah. Penerimaan dosis radiasi oleh tubuh akan memberikan efek stokastik maupun efek non stokastik, sehingga pemilihan faktor eksposi yang tepat akan menghindari efek non stokastik dan memperkecil risiko terjadinya efek stokastik [1].

Pada penelitian ini peneliti menggunakan teknik kV tinggi sehingga diharapkan dapat mengurangi dosis serap radiasi pada organ reproduksi. Menurut Khumar penyerapan dosis pada tubuh dipengaruhi oleh faktor eksposi. Arus tabung (mAs) mengatur kuantitas sinar-X, sedangkan tegangan tabung (kV) mengatur kualitas sinar-X. Pemilihan kV yang tinggi akan menyebabkan daya tembus yang besar pada tubuh, sehingga didapatkan dosis serap yang rendah [10].

Tegangan tabung (kV) mempengaruhi dosis radiasi yang diterima. Hubungan antara kV dengan dosis yang diterima pasien adalah berbanding terbalik. Apabila kV yang digunakan semakin tinggi maka dosis yang diterima oleh pasien akan semakin rendah. Dosis radiasi dapat dikurangi dengan menaikkan kV karena semakin tinggi kV maka semakin tinggi daya tembus

sinar-X yang dihasilkan sehingga sinar-X lebih banyak yang diteruskan daripada yang diserap oleh tubuh [12]. Pada pemeriksaan abdomen dosis radiasi yang diterima oleh testis maupun ovarium akan semakin rendah apabila diikuti dengan kenaikan kVnya sehingga penggunaan teknik V tinggi dapat digunakan untuk meminimalkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien. Pada penggunaan kV tinggi harus diimbangi dengan penurunan mA dan s sehingga total eksposi tetap cukup untuk pembuatan radiograf dan dosis pada pasien dapat dikurangi [4].

Teknik kV tinggi akan menghasilkan radiograf yang memiliki detail yang lebih baik, sebab pada kV tinggi ini digunakan mAs yang kecil sehingga fokus yang digunakan kecil hal ini akan meningkatkan recorded detail radiograf.



kV = 66



kV = 70



kV = 74



kV = 100



kV = 104



kV = 108

Pemakaian kV tinggi akan mengakibatkan interaksi sinar-X dengan objek semakin banyak sehingga produksi radiasi hambur semakin meningkat. Radiasi hambur akan bergerak ke segala arah dan tidak menyinari film secara merata sehingga menghasilkan pola gambar yang tidak teratur, hal ini menyebabkan kontras berkurang. Penggunaan Tegangan (kV) yang tinggi akan menurunkan kontras radiograf tetapi akan meningkatkan skala kontras yang panjang (*long scale*

*contrast*) sehingga akan semakin banyak bagian obyek yang dapat diamati. [7]. Untuk mendapatkan kontras radiograf yang baik pada penggunaan kV tinggi maka radiasi hambur yang sampai ke film harus ditekan di antaranya dengan cara membatasi lapangan penyinaran dan penggunaan grid sinar-X.

Dari hasil penelitian di atas penerimaan dosis pada penggunaan kV tinggi lebih rendah dibanding dengan kV standar. Perbedaan penerimaan dosis pada penggunaan kV standar dan kV tinggi didapat penurunan dosis pada permukaan ovarium 41,42% dan pada testis 70,48%.

Peningkatan nilai kV yang disertai dengan penurunan nilai mAs juga mempengaruhi menurunnya dosis pasien. Ketika nilai kV diturunkan tetapi nilai mAs ditingkatkan justru akan meningkatkan dosis pasien. Hal ini dikarenakan nilai mA mengontrol kuantitas atau banyaknya sinar-X yang dihasilkan. Dengan menurunkan nilai mAs maka akan menentukan jumlah elektron yang bertumbukan ke anoda per satuan waktunya, sehingga sinar-X yang dihasilkan menjadi lebih sedikit. Penggunaan kV yang tinggi, dan mAs yang kecil akan mengurangi kuantitas sinar-X dan menghasilkan daya tembus yang besar sehingga akan mengurangi terjadinya penyerapan energi sinar-X oleh tubuh yang berakibat pada menurunnya dosis pasien. Pada penggunaan kVp  $\geq 100$  kV disarankan dengan penggunaan grid untuk mengurangi hamburan yang berenergi tinggi yang akan sampai ke film [10].

Teknik kV tinggi ini sukses digunakan untuk pemeriksaan saluran pencernaan. [11] Pada pemeriksaan abdomen, teknik kV tinggi ideal bila digunakan untuk pemeriksaan dengan menggunakan media kontras (pemeriksaan serial), karena teknik kV tinggi mempunyai kelebihan dalam menjaga keawetan pesawat [13]. Dengan penggunaan nilai mAs yang kecil maka pemanasan tabung sinar-X akan dapat dikurangi. Banyaknya eksposi pada pemeriksaan dengan media kontras yang dilakukan secara serial dapat mengakibatkan peningkatan panas tabung sinar-X. Dengan menggunakan teknik kV tinggi ini lebih ekonomis, sebab dengan penggunaan kV yang tinggi maka tabung sinar-X akan lebih awet [14].

## V. KESIMPULAN

1. Pemakaian kV rendah pada pemeriksaan abdomen proyeksi AP terukur dosis pada permukaan kulit daerah ovarium sebesar 1,46602 mSv dan pada testis sebesar 0,59928 mSv.
2. Pada pemakaian teknik kV tinggi pada pemeriksaan abdomen terukur dosis pada permukaan kulit daerah ovarium 0,05264 mSv dan pada testis 0,03777 mSv.
3. Dengan menggunakan teknik kV tinggi dosis yang diterima organ reproduksi lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan kV rendah.
4. Pemakaian kV rendah dan kV tinggi pada pemeriksaan abdomen proyeksi AP penerimaan dosis serap organ reproduksi tidak melebihi nilai batas dosis yang ditetapkan sebesar 0,1 mSv untuk sistem reproduksi pria dan 2 mSv untuk sistem reproduksi wanita.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Akhadi, Mukhlis. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [2] Bushong, S. C. 2001. *Radiologic Science For Technologist, Physics, Biologic and Protection*. Seventh Edition. St. Louis: Mosby Inc.
- [3] Pearce, Evelyn. 2002. *Anatomi dan Fisiologi Untuk Paramedics*. Jakarta: Gramedia.
- [4] Statkiewicz, M,A, Paula, J, Russel, E. 2006. *Radiation Protection in Medical Radiography*. Canada: Mosby Inc.
- [5] Yoder R. Craig, et all, (2010) *Estimating Historical Radiation Doses to a Cohort of U.S. Radiologic Technologists*. Radiation Research: 2010, Vol. 166, No. 1, pp. 174-192.
- [6] Jenkins, David. 1988. *Radiographic Photographic and Imaging Process*. Maryland. Canada: Aspen Publication.
- [7] Vand der Plaats, G.J, 1980, *Medical X-Ray Techniques in Diagnostic Radiology, A textbook for radiographers and Radiological Technicians*, Springer Netherlands
- [8] Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- [9] Ballinger, P. W. 2003. *Merrill's Atlas of Radiographic Positions and Radiological Procedures*. Tenth Edition. Volume Two. St Louis: Mosby Inc.
- [10] Kumar, Aswan, Phani Kumar. 2011. *Evaluation On X-Ray Exposure Parameter Considering Tube Voltage and Exposure Time*.
- [11] Morgan, 1977, *an Analysuis of the Physical Factor cobtrolig the diagnostic Quality of roentgen image*, American Jural Of Roentgenology and Radiation therapy, 54 128:54, 395: 5567:55, 627
- [12] Ball J & Price, 1989, *Chesney's Radiographi Imagin*, , Oxford:Blackwell Scientific
- [13] Bryan Glenda J., 1976, *Diagnostic Radiography – A concise practical Manual –(4th edn)*, Churchill Livingstone, London
- [14] Carrol, Q.B dan Fuchs. 1985. *The principle of Radiographic Exposure Processing and Quality Control*. Third Edition. Philadelphia: Charles C and Thomas Publishers.



## DOSIS RADIASI PADA PEMERIKSAAN CT SCAN KEPALA DENGAN SCANOGRAM SEJAJAR INFRA ORBITAL MEATAL LINE (IOML) DAN MODIFIKASI SUPRA ORBITAL MEATAL LINE (SOML)

Darmini<sup>1)</sup>, J. Dahjono<sup>2)</sup>, Bagus Dwi Handoko<sup>3)</sup>, Dwi Rochmayanti<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4)</sup> Poltekkes Kemenkes Semarang, Tirta Agung Pedalangan Banyumanik,

e-mail: da12mini@gmail.com

### ABSTRAK

Pemeriksaan CT Scan kepala berhubungan langsung dengan organ mata yang merupakan organ sensitif terhadap radiasi. Beberapa teori dan penelitian tentang garis perencanaan *scanning* pada kepala yaitu menurut Gedroyc dan Rankin [3] diawali dari tulang dasar tengkorak sampai batas atas kepala. Seeram [8] garis perencanaan diatur sejajar dengan batas bawah orbita dengan lubang telinga (IOML:infra orbito meatal line) sampai vertex, Gedroyc dan Rankin [3] membuat irisan sejajar dengan fossa anterior untuk CT kepala irisan axial [2], membuat scanogram dengan kemiringan 25<sup>0</sup> ke arah vertikal terhadap IOML untuk irisan axial. Ardiyanto, dkk [4] *scanning* dengan mengatur irisan sejajar dengan Supra Orbito Meatal Line (SOML). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dosis radiasi yang diterima oleh organ mata dengan pengaturan irisan sejajar SOML dibandingkan dengan IOML. Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan pendekatan eksperimen, dengan melakukan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD chip yang diletakkan pada permukaan mata pasien selama pemeriksaan CT Scan di Instalasi Radiologi RSUD dr. Margono Soekarjo Purwokerto. Analisis data adalah membandingkan hasil dosis terukur dengan dosis ambang mulai dapat dideteksinya kerusakan lensa mata serta dengan tingkat panduan dosis CT Scan yang ditetapkan BAPETEN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pemeriksaan CT Scan kepala dilakukan dengan 130 kVp dan 240 mAs, nilai dosis di organ mata dengan irisan sejajar IOML dosis yang diterima oleh organ mata 0,024310 Sv hingga 0,034945 Sv. sedangkan pada irisan sejajar SOML dosis yang diterima oleh organ mata 0,002904 Sv hingga 0,005393 Sv. Hasil pengukuran dosis di organ mata pada pemeriksaan CT scan kepala irisan sejajar IOML menunjukkan nilai sekitar 1/14,3 dari nilai ambang kerusakan lensa mata yaitu 0,5 Sv dan irisan sejajar SOML menunjukkan nilai sekitar 1/92 dari nilai ambang kerusakan lensa mata yaitu 0,5 Sv. Selisih dosis radiasi yang dihasilkan pada teknik modifikasi memberikan pengurangan dosis sebesar 24,811 dibanding pada teknik standar.

**Kata kunci:** CT Scan Kepala, Dosis radiasi mata, SOML, IOML

### ABSTRACT

*Head CT directly related to the organs of the eye which is a sensitive organ to radiation. Some of Theory and Research Planning Outline scanning about the head. According Gedroyc and Rankin [3] the scanning starting from the basic of bone Skull until to up limit of heads. Seeram [8] Outline Planning is set equal to the lower limit of the orbit with ear hole (IOML: orbito infra line meatus) Up to a point, Gedroyc Dan Rankin [3] made by fossa anterior incision aligned to review head CT axial slices. Bontrager [2], scanogram to make to direction Vertical 250 tilt against IOML to review axial slices. Ardiyanto, et al [4] set the slices parallel scanning with the Supra orbito meatus Line (SOML). This research is a descriptive study by measuring the radiation dose using TLD chip is placed on the surface of the patient's eye during CT scan procedure in RadioloSv dr. Margono Soekarjo Hospital at Purwokerto. Analysis data compare the results with the metered dose threshold dose began to detection of damage to the eye's lens and the guide levels specified dose CT Scan according regulation from BAPETEN. Results show that at Examination head CT scan performed with 130 kVp and 240 mAs, dose values in the eye organ with IOML slices is 0.024310Sv to 0.027924Sv. While at SOML slices dose values in the eye organ between 0.005393Sv to 0.002904Sv. Measurement dose results in organ eye to examination a head CT scan with slices IOML shows value approximately 1/17 From Threshold damage Namely eyepiece 0.5 Sv and slice SOML shows value Approximately 1/90 From Threshold damage the eye lens namely 0, 5 Sv. The difference in radiation dose generated in the modification technique provides a dose reduction of 24.811 compared to standard techniques*

**Keywords:** Head CT scan, eye radiation dose, SOML, IOML

### I. PENDAHULUAN

Computed tomography (CT) scan merupakan salah satu modalitas pencitraan diagnostik yang bertujuan untuk menghasilkan citra irisan anatomi dengan resolusi yang tinggi. Pemeriksaan ini menjadi

SOP standar bagi pasien dengan kasus cedera kepala ringan maupun cedera kepala berat dan merupakan pemeriksaan yang bersifat rutin [8].

Pemeriksaan CT kepala menjadi penting karena berbagai kelainan patologis pada tulang kepala maupun

otak yang ada didalamnya. Selain itu pemeriksaan CT kepala berhubungan langsung dengan organ mata yang merupakan organ sensitif terhadap radiasi. Untuk itu diperlukan perencanaan *scanning* yang dikenal dengan scanogram yang tepat agar diagnosa dapat ditegakkan. Teknik scanogram pada CT kepala menurut Gedroyc dan Rankin [3] diawali dari tulang dasar tengkorak sampai batas atas kepala. Seeram [8] menyebutkan bahwa pengambilan garis perencanaan diatur sejajar dengan batas bawah orbita dengan lubang telinga (IOML: infra orbito meatal line) sebagai batas bawah dan scan berlanjut ke atas sampai vertex. Teknik ini menghasilkan irisan axial kepala. Hal ini diperkuat oleh Ballinger [1], pada teknik radiografi tulang dasar kepala kaset diatur sejajar dengan IOML. Nesseth dan William [6] juga memperkuat pendapat Seeram [8]. Teknik scanogram ini akan melewati mata, sehingga mata akan menerima radiasi CT scan yang besar.

Studi tentang besaran dosis efektif pada CT kepala telah dilakukan oleh Silvia, dkk [7] dosis efektif dihitung dengan software IMPACT CT Patient Dosimetry Calculator dengan data 10 orang pasien masing-masing bagian pemeriksaan menggunakan CT-Scan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: CTDI pasien pada pemeriksaan bagian head berkisar antara 21,09 mSv hingga 26,98 mSv, CTDI 11,26 mSv hingga 32,55 mSv bagian thorax, dan antara 7,72 mSv hingga 19,38 mSv bagian abdomen. Eksposi sebesar 120kV dengan 200mA dalam waktu 1 detik per rotasi akan mengenai mata [5]. Untuk mengurangi dosis radiasi ke mata, Gedroyc dan Rankin [3] membuat scanogram sejajar dengan fossa anterior untuk CT kepala irisan axial. *Scanning* dimulai dari lubang telinga ke atas sampai vertex. Menurut Gedroyc dan Rankin [3], teknik ini akan mengurangi penerimaan dosis radiasi ke mata meskipun beberapa irisan masih melewati mata. Sementara Bontrager [2], membuat alternatif scanogram dengan kemiringan 250 ke arah vertikal terhadap IOML untuk irisan axial. *Scanning* diawali dari lubang telinga sampai vertex. Teknik ini juga memiliki tujuan untuk menghindari penerimaan radiasi ke mata. Dengan teknik scanogram ini, mata tidak akan terlewat oleh berkas sinar. Akan tetapi menurut Bontrager [2] dengan teknik ini apabila sudut mata pasien terlalu sempit atau ukuran obyek terlalu kecil misal pada pasien anak-anak, maka sudut sebesar 250 akan menghasilkan kemiringan yang terlalu besar bila dibandingkan dengan teknik CT kepala irisan axial menurut Seeram [8] serta Nesseth dan William [6].

Penelitian yang sama telah dilakukan oleh Ardiyanto, dkk [4] mengenai aspek informasi diagnostic tapi belum menyinggung tentang dosis yang diterima oleh pasien, Oleh karena itu penelitian ini mengembangkan dari penelitian sebelumnya untuk meneliti aspek dosis yang diterima oleh pasien khususnya pada area mata yang merupakan organ sensitif.

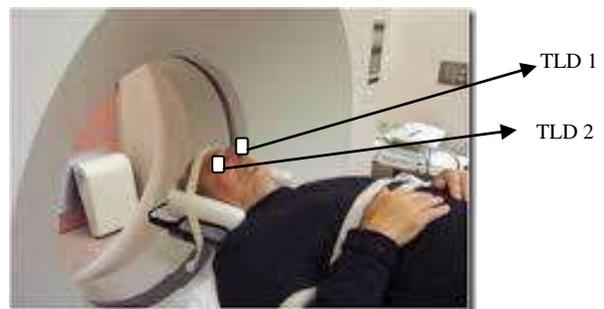
Pada penelitian ini akan dilakukan pengukuran dosis pada pemeriksaan CT kepala pada positioning standard dan modifikasi. Pengukuran dosis dilakukan dengan memberikan TLD yang diletakkan pada organ mata pasien dengan dua cara scanning yang berbeda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui

dosis radiasi yang diterima organ mata pada pemeriksaan CT kepala scanogram sejajar infra orbito meatal line (IOML) dan modifikasi supra orbito meatal line (SOML).

## II. METODE

Jenis penelitian yang dilakukan adalah penelitian deskriptif dengan pendekatan eksperimen, dengan melakukan pengukuran dosis radiasi menggunakan TLD chip yang diletakkan pada permukaan mata pasien. Lokasi penelitian di Instalasi Radiologi RSUD dr. Margono Soekarjo Purwokerto. Jumlah pasien yang dijadikan sampel pada penelitian ini adalah 30 pasien dengan kriteria inklusi : pasien kooperatif untuk dilakukan pemeriksaan CT scan kepala. Dimana masing-masing 15 pasien diberikan TLD pada pemeriksaan standar dan 15 pasien dengan pemeriksaan modifikasi. Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pesawat CT scan sudah memiliki ijin secara resmi yang dikeluarkan oleh Bapeten
2. Alat ukur radiasi (dalam hal ini TLD) dan reader sudah terkalibrasi dan alat ini dipinjam dari PTKMNR Batan Jakarta
3. Memastikan pesawat CT Scan telah lolos uji kesesuaian dari lembaga pengujian berkualifikasi yang ditunjuk oleh Bapeten yang berwenang untuk mengukur kesesuaian alat CT Scan.
4. Pada saat pengukuran, pasien diposisikan sesuai dengan prosedur pemeriksaan yang harus dilakukan.
5. Persiapan TLD, TLD dipilih yang telah diketahui faktor kalibrasinya dan mempunyai keseragaman tanggapan yang sama.
6. Mula-mula dilakukan pendataan kondisi pasien, meliputi : umur, jenis kelamin, tebal kepala, lingkaran kepala pasien, penggunaan Faktor eksposi (tegangan tabung /kV, arus tabung /mA dan waktu penyinaran/s), FFD dan kode nomor TLD.
7. Mengatur gantry tilt 10 -20<sup>0</sup> di atas orbito meatal line atau sejajar dengan infra orbito meatal baseline.
8. TLD diletakkan pada daerah pertengahan permukaan kulit organ mata kanan dan kiri..



**Gambar 1.** Penempatan TLD chip pada permukaan mata kanan dan kiri

9. Kemudian dilakukan scanogram CT Scan Kepala sesuai dengan teori yaitu sejajar IOML
10. Setelah dilakukan scanogram IOML selanjutnya TLD chip diambil

11. Lakukan langkah yang sama untuk pemeriksaan yang lain pasien ke 2 dan 3 dan seterusnya pada sejumlah 15 pasien yang masuk dalam kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya.
12. Kemudian ulangi langkah 1 – 6 untuk pelaksanaan scanogram dengan modifikasi sejajar SOML sejumlah 15 pasien dengan pasien yang berbeda
13. Untuk memperkirakan dosis radiasi yang diterima dari sumber radiasi digunakan 60 TLD chip dengan dimensi 3,175 x 3,175 x 0,899 mm, sedangkan untuk membaca hasil cacahan dari energy yang diserap oleh TLD chip digunakan TLD Reader. Chip TLD dikalibrasi dan dievaluasi oleh bagian dosimetri Pusat Teknologi Keselamatan dan Meteorologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR-BATAN) Lebak Bulus Jakarta.
14. Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil bacaan dosis TLD pada organ mata antara scanning standar dan modifikasi, selanjutnya membandingkan dengan panduan dosis ambang mulai dapat dideteksinya kerusakan lensa mata serta dengan tingkat panduan dosis CT Scan yang ditetapkan BAPETEN

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dosis radiasi yang diterima oleh organ mata pada pemeriksaan CT kepala dengan irisan sejajar infra orbito meatal line (IOML) dan modifikasi supra orbito meatal line (SOML).

Hasil pengukuran dosis radiasi yang diterima oleh organ mata ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1** . Dosis di organ mata pada pemeriksaan CT Scan kepala dengan irisan kepala sejajar IOML

Tebal kepala (cm)	Tegangan Tabung (kV)	Hasil ukur dosis (mSv)	Hasil Ukur Dosis (Sv)
19.6	130	27,924	0,027924
18	130	24,310	0,024310
18.5	130	33,827	0,033827
18.5	130	24,467	0,024467
Tebal kepala (cm)	Tegangan Tabung (kV)	Hasil ukur dosis (mSv)	Hasil Ukur Dosis (Sv)
17	130	28,250	0,028250
18.5	130	28,863	0,028863
18	130	32,554	0,032554
19	130	31,302	0,031302
17	130	26,333	0,026333
18	130	28,841	0,028841
18	130	31,289	0,031289
18	130	34,945	0,034945
17,5	130	28,900	0,028900
19	130	26,333	0,028841
17.5	130	28,841	0,031289

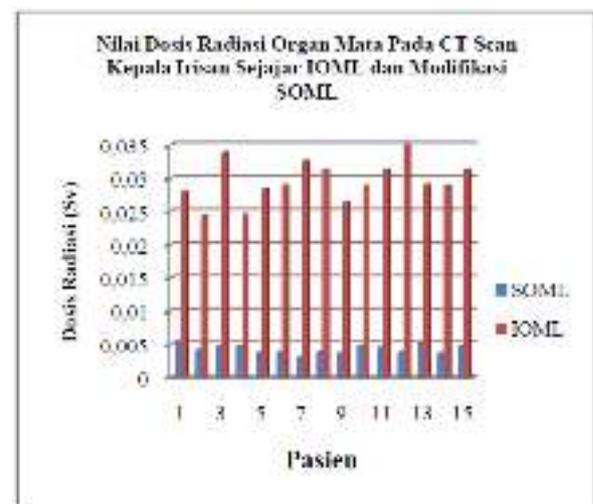
Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa besarnya dosis radiasi yang diterima oleh organ mata pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT scan kepala cukup bervariasi untuk setiap pasien. Pada pengaturan irisan kepala axial dengan irisan kepala

sejajar IOML dosis yang diterima mulai dari 0,024310 Sv hingga 0,034945 Sv.

**Tabel 2** Dosis organ mata pada pemeriksaan CT Scan kepala dengan modifikasi irisan kepala sejajar SOML

Tebal kepala (cm)	Tegangan Tabung (kV)	Hasil ukur dosis (mSv)	Hasil Ukur Dosis (Sv)
17	130	5,393	0,05393
17,6	130	4,101	0,04101
18,6	130	4,611	0,04611
18,75	130	4,643	0,04643
17,96	130	3,847	0,03847
19,4	130	3,664	0,03664
19	130	2,904	0,02904
19	130	3,681	0,03681
17,9	130	3,611	0,03611
18,6	130	4,797	0,04797
17,8	130	4,490	0,04490
19,5	130	3,651	0,03651
17	130	5,084	0,05084
17	130	4,790	0,04790
19	130	4,490	0,04490

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran dosis radiasi yang diterima oleh organ mata pada pasien yang berbeda yang menjalani pemeriksaan CT scan kepala dengan irisan modifikasi SOML. Tabel 2 merupakan tabel hasil modifikasi irisan kepala axial sejajar SOML. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa besarnya dosis radiasi yang diterima oleh organ mata pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT scan kepala cukup bervariasi untuk setiap pasien. Pada pengaturan irisan kepala lateral dengan irisan kepala sejajar SOML dosis yang diterima mulai dari 0,002904 Sv hingga 0,005393 Sv.



**Gambar 2.** Grafik nilai dosis antara irisan sejajar IOML dan modifikasi SOML

Untuk mendapatkan gambaran CT Scan kepala dengan mengurangi dosis radiasi ke mata, penelitian ini melakukan modifikasi irisan pada irisan supra orbito meatal line (SOML). Hasil penelitian menunjukkan

bahwa dengan melakukan irisan diatas mata atau pada SOML dosis radiasi yang diterima oleh organ mata lebih kecil dibandingkan dengan irisan IOML . Dosis radiasi pada irisan SOML yaitu sebesar 0,002904 Sv hingga 0,005393 Sv. Sedangkan pada irisan IOML dosis radiasi yang diterima oleh organ mata sebesar 0,024310 Sv hingga 0,034945 Sv.

Meskipun pesawat CT scan yang digunakan sama, dosis radiasi yang diterima oleh organ mata tidak sama. Selain itu anatomi masing-masing pasien tidak sama, serta adanya bentuk dan ketebalan tubuh masing-masing pasien.

Hasil pengukuran dosis di organ mata pada pemeriksaan CT scan kepala irisan sejajar IOML menunjukkan nilai sekitar 1/14,3 dari nilai ambang kerusakan lensa mata yaitu 0,5 Sv. Sedangkan hasil pengukuran dosis di organ mata pada pemeriksaan CT scan kepala irisan sejajar SOML menunjukkan nilai sekitar 1/92 dari nilai ambang kerusakan lensa mata yaitu 0,5 Sv. Sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui teknik mana yang memberikan dosis rendah pada organ mata sehingga dapat digunakan dalam alternative pemeriksaan CT scan kepala.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Jeffri, dkk [4], untuk informasi citra yang dihasilkan dengan kedua teknik yaitu standar dan modifikasi tidak menunjukkan adanya perbedaan. Dimana parameter kualitas yang dinilai adalah untuk informasi anatomi yang meliputi cerebrum, cerebellum, tulang dasar tengkorak, ketajaman antara grey dan white matter, basal, ganglia, sistem ventrikel, cerebrosipinal fluid memiliki kualitas yang sama.

Efek biologi akibat radiasi pengion bagi pasien yang menjalani pemeriksaan CT scan kepala tentunya dikhawatirkan akan dapat menyebabkan kerusakan pada lensa mata diawali dengan terbentuknya titik-titik kekeruhan atau hilangnya sifat tranparansi sel serabut lensa yang mulai dapat dideteksi setelah paparan radiasi sekitar 0,5 Sv. Meskipun nilai dosis masih di bawah dosis ambang dapat menyebabkan rusaknya lensa mata, selalu dilakukan upaya untuk menurunkan dosis radiasi yang diterima pasien dengan tetap memperhatikan aspek manfaat diagnosis pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT scan kepala. Pengaturan parameter pada pemeriksaan CT scan yang terkait langsung dengan penerimaan dosis radiasi seperti kVp, mAS, slice thickness, slice collimation, dan pitch harus selalu diperhatikan sebagai upaya menurunkan dosis yang diterima pasien dengan citra yang dihasilkan tetap mampu menegakkan diagnose pasien. Hal tersebut tentunya juga perlu perhatian pihak terkait untuk selalu melaksanakan azas proteksi radiasi (justifikasi, optimisasi dan limitasi) dalam setiap pemanfaatan CT scan untuk kepentingan diagnosis.

#### IV. KESIMPULAN

Pengukuran dosis pada Pemeriksaan CT Scan kepala dengan teknik standar dan modifikasi menunjukkan hasil yang jauh berbeda dimana dosis pada teknik modifikasi memberikan nilai yang jauh di bawah teknik standar, dengan pengurangan dosis rata-rata pada organ mata sebesar 24, 881 mSv. Sehingga teknik modifikasi dapat digunakan sebagai referensi

untuk pemeriksaan CT scan kepala guna meminimalnya dosis radiasi yang diterima pasien.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sampaikan terimakasih kepada Direktur Poltekkes Kemenkes Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada peneliti untuk dapat melakukan penelitian dalam rangka peningkatan kualitas keilmuan

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ballinger., 2003, Merril's atlas of Radiographic positioning and radiologic procedure
- [2] Bontrager K.L., 2001, Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy, fifth edition, Mosby,
- [3] Gedroyc W. And Rankin S., 1992, Practical CT Techniques, Springer Verlag, London.
- [4] Jeffri Ardiyanto, dkk , 2013, Analisa Informasi Diagnostik pada CT Scan Kepala dengan Modifikasi Scanogram Sebagai Upaya Penurunan Dosis Radiasi ke Mata, Poltekkes Semarang
- [5] Kalender Willi A,2000, Computed Tomography Fundamntals, System TeknoloSv Image Quality, Apllication, Publicis MCD, Verlag
- [6] Neseth, R. And William E.K., 2000, Procedures and Documentation for CT and MRI, McGraw-Hill, Medical Publishing Division
- [7] Silvia, dkk, (2013) Estimasi Nilai CTDI dan Dosis Efektif Pasien Bagian Head, Thoraks dan Abdomen Hasil Pemeriksaan CT Scan Merk Philips Brilliance 6, Jurnal Fisika Unand,Vol 2 no2, ISSN 2302-8491
- [8] Seeram, E, 2001, Computed Tomography: Physical principle, clinical application, and quality control, second edtion, WB Saunders Company



## PENINGKATAN KUALITAS PERATURAN KEPALA BAPETEN MELALUI IMPLEMENTASI ISO 9001:2015

**Satria Prahara**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN*

e-mail: s.prahara@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Kualitas peraturan yang diterbitkan oleh instansi pemerintah perlu ditingkatkan dan disederhanakan untuk mendorong terwujudnya Nawa Cita yakni agar Indonesia dapat menjadi bangsa yang mandiri secara ekonomi dan berdaya saing. Hal ini disampaikan oleh presiden Joko Widodo melalui paket kebijakan ekonomi yang telah diterbitkannya. BAPETEN sebagai instansi pemerintah perlu mengambil peran dalam momentum ini dengan meningkatkan kualitas produk hukumnya yaitu Peraturan Kepala BAPETEN (Perka BAPETEN). Salah satu cara meningkatkan kualitas peraturan adalah dengan menerapkan sistem manajemen mutu ISO 9001:2015 dalam proses pembuatan peraturan tersebut. Dengan menerapkan ISO 9001:2015 dalam proses pembuatan peraturan, diharapkan peraturan yang dihasilkan oleh BAPETEN khususnya peraturan Kepala benar-benar berkualitas.

**Kata kunci:** Kualitas, Peraturan, ISO 9001:2015, Perka BAPETEN

### ABSTRACT

*The quality of regulations issued by government institutions needs to be improved and simplified to encourage the realization of Nawa Cita, so that Indonesia can become an independent nation economically and competitively. This was conveyed by President Joko Widodo through a package of economic policies that have been published. BAPETEN as a government institutions needs to take a role in this momentum by improving the quality of BAPETEN Chairman Regulation (BCR). One way to improve the quality of regulations is to apply the quality management system ISO 9001:2015 in the process of making the regulation. By implementing ISO 9001: 2015 in the regulation making process, it is expected that the regulations issued by BAPETEN in particular the BAPETEN Chairman regulations are truly qualified.*

**Keywords:** *Quality, Regulation, ISO 9001: 2015, BCR*

### I. PENDAHULUAN

Undang-Undang No.10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mengamanatkan BAPETEN melakukan pengawasan melalui pembuatan peraturan, perizinan, dan inspeksi [1]. Salah satu dari ketiga pilar pengawasan tersebut yakni peraturan merupakan salah satu isu yang saat ini sedang hangat menjadi perbincangan saat presiden Joko Widodo gencar mendorong instansi pemerintah untuk memperbaiki dan menyederhanakan peraturan yang ada sebagai langkah untuk memudahkan pelaku bisnis dalam menjalankan bisnisnya (*Ease of Doing Business*) sebagai bentuk komitmen dalam mewujudkan Nawa Cita yakni agar Indonesia dapat menjadi bangsa yang mandiri secara ekonomi dan berdaya saing [2].

Keinginan tersebut tidak lepas dari hasil penilaian Bank Dunia (*World Bank*) terhadap kualitas regulasi Indonesia. Berdasarkan *The Worldwide Governance Indicator 2016*, kualitas peraturan Indonesia menduduki peringkat 111 dari 214 negara. Di kawasan Asia Tenggara, Indonesia masih berada dibawah Singapura, Brunei, Malaysia, Thailand dan Filipina. Indonesia hanya lebih baik dari Vietnam dan Myanmar [3].

Kondisi ini jelas menggambarkan rendahnya kualitas peraturan Indonesia sehingga perlu dilakukan langkah yang tepat dalam meningkatkan kualitasnya. Untuk meningkatkan kualitas peraturan dapat dimulai dari memperbaiki proses pembentukannya.

Dalam membentuk Peraturan Perundang-undangan harus dilakukan berdasarkan pada asas Pembentukan Peraturan Perundang-undangan yang baik yang meliputi a. kejelasan tujuan; b. kelembagaan atau pejabat pembentuk yang tepat; c. kesesuaian antara jenis, hierarki, dan materi muatan; d. dapat dilaksanakan; e. kedayagunaan dan kehasilgunaan; f. kejelasan rumusan; dan g. keterbukaan. [4]

Banyak cara yang bisa dilakukan untuk mewujudkan peraturan yang berkualitas, salah satunya adalah dengan menerapkan sistem manajemen mutu (SMM) dalam proses pembuatan peraturan tersebut. SMM merupakan sekumpulan prosedur terdokumentasi dan praktek-praktek standar untuk manajemen sistem yang bertujuan menjamin kesesuaian dari suatu proses dan produk (barang atau jasa) terhadap kebutuhan persyaratan tertentu yang ditentukan oleh pelanggan dan organisasi [5].

SMM yang paling banyak digunakan di dunia adalah ISO 9001 dengan revisi terkini tahun 2015. ISO

9001 merupakan standar internasional yang paling banyak diadopsi oleh organisasi-organisasi di seluruh dunia sebagai acuan dalam mengembangkan sistem manajemen mutu. Hingga saat ini, lebih dari satu juta organisasi tersebar di 170 negara di dunia telah tersertifikasi ISO 9001 [6]. Hal ini dapat dipahami mengingat bahwa seluruh persyaratan ISO 9001 bersifat umum dan dimaksudkan untuk dapat diterapkan pada semua organisasi, terlepas dari jenis atau ukuran produk dan jasa yang disediakan.

Selain itu, Standar Internasional ini dapat mengarahkan organisasi untuk memiliki sistem manajemen mutu yang secara konsisten menyediakan produk dan layanan yang memenuhi persyaratan pelanggan dan persyaratan hukum dan peraturan yang berlaku, dan bertujuan untuk meningkatkan kepuasan pelanggan [7].

Dengan menerapkan ISO 9001:2015 dalam proses pembentukan Perka BAPETEN diharapkan peraturan yang dihasilkan benar-benar berkualitas dan dapat meningkatkan kepuasan *stakeholders*.

## II. POKOK BAHASAN

### A. Sekilas tentang ISO 9001:2015

Sejak pertama kali diterbitkan tahun 1987, Standar ISO 9001:2015 sudah beberapa kali dilakukan revisi yaitu tahun 1994, 2000, 2008 dan terakhir tahun 2015. Pada revisi terakhir ini dilakukan perubahan besar dengan tujuan agar standar ini dapat lebih fleksibel dan dapat diimplementasikan untuk semua jenis organisasi baik itu pemerintah maupun swasta, skala kecil maupun besar.

Penerapan sistem manajemen mutu merupakan suatu keputusan strategis bagi suatu organisasi yang dapat membantu organisasi untuk meningkatkan kinerjanya secara keseluruhan dan menyediakan dasar yang kuat untuk inisiatif pembangunan berkelanjutan. Manfaat potensial suatu organisasi yang mengimplementasikan sistem manajemen mutu berdasarkan standar internasional adalah :

- Kemampuan untuk menyediakan produk dan jasa secara konsisten yang memenuhi kebutuhan pelanggan dan persyaratan hukum serta peraturan yang berlaku;
- Memfasilitasi peluang untuk meningkatkan kepuasan pelanggan;
- Menangani risiko dan peluang yang terkait dengan konteks dan tujuannya;
- Kemampuan untuk menunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan sistem manajemen mutu yang ditentukan.

Standar ISO 9001:2015 terdiri dari 10 klausul persyaratan yaitu ruang lingkup, acuan normatif, istilah dan definisi, konteks organisasi, kepemimpinan, perencanaan, dukungan, operasional, evaluasi kinerja, dan peningkatan. Standar ini merupakan sebuah standar yang dibuat berdasarkan 7 prinsip manajemen mutu antara lain fokus pada pelanggan, kepemimpinan, keterlibatan orang, pendekatan proses, peningkatan, pengambilan keputusan berdasarkan bukti, dan manajemen hubungan. Ketujuh prinsip ini melahirkan konsep-konsep penting yang bersama-sama membentuk

bagian integral dalam mencapai tujuan organisasi. Konsep – konsep itu adalah pendekatan proses; *Plan-Do-Check-Action* (PDCA); dan Pemikiran berbasis risiko.

#### a. Pendekatan proses

Semua organisasi menggunakan proses untuk mencapai tujuannya. Suatu proses merupakan kumpulan kegiatan yang saling terkait atau berinteraksi yang menggunakan input untuk memberikan hasil yang diinginkan. Pendekatan proses ini menggerakkan sebuah organisasi untuk merencanakan proses-proses dan interaksinya.

#### b. PDCA

Siklus PDCA menggerakkan sebuah organisasi untuk memastikan bahwa proses-proses didukung oleh sumber daya dan pengelolaan yang sesuai, serta dilakukan peningkatan berkelanjutan. PDCA adalah alat yang dapat digunakan untuk mengelola proses dan sistem.

*Plan* (Rencana), menetapkan sasaran dari sistem dan proses-prosesnya, dan sumber daya yang dibutuhkan dalam rangka untuk memberikan hasil yang sesuai dengan persyaratan pelanggan dan kebijakan organisasi, serta identifikasi dan menangani risiko dan peluang;

*Do* (Lakukan), menerapkan apa yang direncanakan;

*Check* (Periksa), memantau dan mengukur proses-proses dan menghasilkan produk dan jasa terhadap kebijakan, sasaran dan persyaratan dan aktivitas yang direncanakan, dan melaporkan hasilnya;

*Act* (tindak lanjut), mengambil tindakan untuk meningkatkan kinerja proses.

#### c. Pemikiran berbasis risiko

Pemikiran berbasis risiko menggerakkan sebuah organisasi untuk menentukan faktor-faktor yang dapat menyebabkan proses-proses dan sistem manajemen mutu menjadi menyimpang dari hasil yang direncanakan, untuk menempatkan kontrol pencegahan untuk meminimalkan efek negatif dan memaksimalkan penggunaan peluang yang muncul.

### B. Sertifikasi ISO 9001:2015

Sertifikasi merupakan bagian penting dalam memastikan bahwa BAPETEN telah mengimplementasikan ISO 9001:2015 secara benar. Sertifikasi ini dilakukan oleh lembaga sertifikasi yang telah di akreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional. Proses sertifikasi dibagi menjadi 2 tahap yaitu *Initial Certification* dan *Maintenance*.

*Initial Certification* merupakan tahapan untuk memastikan bahwa organisasi berhak mendapat sertifikat ISO 9001:2015 untuk pertama kalinya. Sedangkan *maintenance* adalah tahapan untuk memastikan bahwa organisasi masih berhak mendapat sertifikat ISO 9001:2015 untuk kedua kalinya dan seterusnya.

### C. Proses pembentukan peraturan kepala BAPETEN

Proses pembentukan peraturan kepala BAPETEN diatur di dalam prosedur lembaga [8]. Proses pembentukan Peraturan kepala BAPETEN terdiri dari 5 tahapan yaitu perencanaan, penyusunan, pembahasan, pengesahan/penetapan, dan

pengundangan. Masing-masing proses tersebut melibatkan peran serta unit kerja yang berbeda-beda yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

**Tabel 1.** Peran unit kerja dalam proses pembentukan peraturan kepala BAPETEN

Proses	Unit kerja pemegang kendali proses	Hubungan dengan unit kerja/bagian lain	Output
Perencanaan	UK Peraturan	Deputi PKN	Daftar usulan Raperka BAPETEN
Penyusunan	UK Peraturan	Deputi PKN, Deputi PI, UK Terkait	Rancangan awal Perka BAPETEN
Pembahasan	UK Peraturan	BHO	Rancangan akhir Perka BAPETEN
Pengesahan/ Penetapan	UK Peraturan, BHO	Deputi PKN Kepala BAPETEN	Perka BAPETEN belum diundangkan
Pengundangan	BHO	Kemenkumham	Perka BAPETEN

Ket:

UK: Unit Kerja

PKN: Pengkajian Keselamatan Nuklir

PI: Perijinan dan Inspeksi

BHO: Biro Hukum dan Organisasi.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan persyaratan ISO 9001:2015, dengan memadukan konsep pendekatan proses, PDCA dan pemikiran berbasis risiko, berikut hal-hal yang perlu dipersiapkan oleh BAPETEN untuk dapat mengimplementasikan ISO 9001:2015.

#### 1. Plan

- a. Mendefinisikan konteks organisasi, antara lain:
  - Identifikasi pihak berkepentingan baik internal maupun eksternal dan tanggung jawab masing-masing; pihak internal meliputi unit kerja peraturan, perijinan, inspeksi, pengkajian, serta unit non teknis seperti biro hukum dan organisasi. Sedangkan eksternal meliputi kementerian atau non kementerian terkait, pengguna, akademisi dan asosiasi profesi
  - Kebutuhan dan harapan pihak yang berkepentingan
- b. Menentukan ruang lingkup, tujuan dan kebijakan organisasi.
  - Menentukan ruang lingkup, batas-batas dan penerapan sistem manajemen dengan mempertimbangkan konteks internal dan eksternal dan persyaratan pihak yang berkepentingan. Ruang lingkup implementasi ISO 9001:2015 adalah proses pembentukan peraturan kepala BAPETEN

- Kebijakan dan sasaran
- c. Menentukan proses-proses dalam organisasi
    - Menentukan proses yang diperlukan untuk mencapai output yang dimaksud meliputi manajemen, sumber daya, operasi, pengukuran, analisa dan perbaikan. Proses-proses utama adalah perencanaan, penyusunan dan pembahasan.
  - d. Menentukan urutan proses
    - Mendefinisikan dan menggambarkan *network* dari proses dan interaksinya dengan mempertimbangkan hal berikut:
      - *Input* dan *output* dari setiap proses (internal atau eksternal)
      - Interaksi antar proses (aktif dan pasif)
      - Efektivitas dan efisiensi urutan proses
      - Risiko yang mungkin timbul dari setiap proses.
  - e. Mendefinisikan dan memberikan tanggung jawab dan wewenang untuk setiap proses
    - Setiap SDM yang ada di unit kerja peraturan dilibatkan dan diberikan wewenang dan tanggung jawab dalam setiap proses. Penentuan SDM ini harus sesuai dengan pangkat dan jabatan SDM.
  - f. Definisikan kebutuhan atas informasi terdokumentasi.
    - Banyak proses dalam organisasi. BAPETEN harus menentukan proses mana yang harus didokumentasikan atas dasar pemikiran berbasis risiko. Sebagai panduan di dalam ISO 9001:2015, terdapat 20 proses yang wajib untuk didokumentasikan antara lain:
      - 4.3 → Ruang lingkup organisasi
      - 4.4 → Bisnis Proses
      - 5.2.2 → Kebijakan Mutu
      - 6.2.1 → Sasaran mutu
      - 7.1.5 → Sumber daya
      - 7.2 → Kompetensi
      - 8.1 → Prosedur, IK, Rencana Kerja, dan rekaman Output proses
      - 8.2.3 → Persyaratan peraturan, standar pelayanan
      - 8.3.2 → Desain dan pengembangan persyaratan
      - 8.3.6 → Desain dan pengembangan perubahan
      - 8.4.1 → Kendali produk dan jasa pihak eksternal
      - 8.5.1a → Pengendalian produksi
      - 8.5.3 → Properti pelanggan
      - 8.5.6 → Tinjauan Perubahan
      - 8.6 → Rilis produk
      - 8.7.2 → Pengendalian ketidaksesuaian
      - 9.1 → Pemantauan, pengukuran, analisis dan evaluasi
      - 9.2 → Bukti Internal audit
      - 9.3 → Tinjauan Manajemen
      - 10.2.2 → Ketidaksesuaian dan tindakan korektif

- Proses dapat didokumentasikan dalam bentuk apapun. Jika pada ISO 9001:2008 harus dalam bentuk prosedur dan instruksi kerja, Pada ISO 9001:2015 bisa dalam bentuk apapun misalnya instruksi tertulis, *flowchart*, prosedur, rekaman tertulis, audio, atau visual.
- g. Tentukan *interface*, risiko, dan kegiatan dalam proses
- Tentukan output dan input yang dibutuhkan dari proses
  - Tentukan risiko terhadap kesesuaian produk, jasa dan kepuasan pelanggan jika output yang tidak diinginkan muncul
  - Tentukan kegiatan, tindakan dan pengendalian yang diperlukan untuk mengubah input menjadi output yang diinginkan.
  - Tentukan dan definisikan urutan dan interaksi dari kegiatan dalam proses.
  - Tentukan bagaimana cara melakukan setiap kegiatan.
  - Pastikan bahwa sistem manajemen secara keseluruhan memperhitungkan semua risiko.
- h. Definisikan persyaratan pemantauan dan pengukuran.
- Mengidentifikasi validasi yang diperlukan untuk menjamin efektivitas dan efisiensi proses dan sistem dengan memperhitungkan faktor-faktor sebagai berikut:
    - Kriteria pemantauan dan pengukuran
    - Reviu dan kinerja
    - Kepuasan pihak yang berkepentingan
    - Kinerja pemasok
    - Ketepatan waktu pengiriman dan lamanya.
    - Biaya kegagalan dan limbah
    - Biaya proses
    - Frekuensi insiden
    - Pengukuran lain sesuai dengan persyaratan.
2. *Do*
- a. Melaksanakan
- Mengimplementasikan tindakan yang diperlukan untuk mencapai kegiatan dan hasil yang direncanakan.
  - BAPETEN harus melakukan kegiatan, monitoring langkah-langkah dan kontrol proses, *outsourcing* dan metode lain yang diperlukan untuk mencapai hasil yang direncanakan.
- b. Menentukan sumber daya yang dibutuhkan untuk proses yang efektif. Sumber daya tersebut meliputi:
- Sumber daya manusia
  - Infrastruktur
  - Lingkungan hidup
  - Informasi
  - Pengetahuan

- Bahan
- Sumber keuangan.

### 3. *Check*

Verifikasi output proses apakah masih sesuai terhadap tujuan yang direncanakan. BAPETEN harus membandingkan output terhadap tujuan untuk memverifikasi bahwa semua persyaratan terpenuhi. Proses ini meliputi pengukuran, pemantauan, ulasan, audit dan analisis kinerja.

### 4. *Act*

Melakukan perubahan proses untuk memastikan output yang dihasilkan sesuai dengan persyaratan. Langkah dalam merubah proses harus terlebih dahulu diawali dengan penemuan masalah yang tepat dan penyelesaian masalah yang tepat pula. Langkah dalam menyelesaikan masalah antara lain:

- Mendefinisikan masalah atau tujuan
- Mengumpulkan dan menganalisis data pada masalah dan proses yang relevan
- Memilih dan menerapkan solusi yang tepat.
- Mengevaluasi efektivitas solusi
- menerapkan solusi kedalam proses (rutinitas).

## IV. KESIMPULAN

Untuk meningkatkan kualitas peraturan Kepala BAPETEN dapat dimulai dari meningkatkan proses pembentukan peraturannya. Dalam membentuk peraturan dilakukan tahapan perencanaan, penyusunan, pembahasan, pengesahan/penetapan, dan pengundangan.

Sesuai dengan persyaratan ISO 9001:2015, BAPETEN harus menerapkan konsep pendekatan proses, PDCA dan Pemikiran berbasis risiko secara konsisten. Untuk menjaga konsistensi ini BAPETEN perlu di Sertifikasi oleh lembaga sertifikasi ISO 9001:2015 yang diakui oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [2] <http://eodb.ekon.go.id>, diakses 29 Mei 2017
- [3] <http://info.worldbank.org>, diakses 29 Mei 2017
- [4] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 12 tahun 2011 Tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [5] <http://pengertianmanagement.blogspot.co.id/2012/10/sistem-manajemen-mutu-quality.html>, diakses 29 Mei 2017
- [6] <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html>, diakses 29 Mei 2017
- [7] [http://qms.pom.go.id/sites/default/files/4.%20Standard%20ISO%209001\\_2015%20%20bahasa.pdf](http://qms.pom.go.id/sites/default/files/4.%20Standard%20ISO%209001_2015%20%20bahasa.pdf), diakses 29 Mei 2017
- [8] BAPETEN, *Prosedur Pembentukan, Perubahan dan Pencabutan Peraturan Kepala BAPETEN*, Sekretaris Utama BAPETEN, Jakarta, 2016



## PERUBAHAN-PERUBAHAN PADA REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN NO. 9 TAHUN 2011 TENTANG UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL

Sawiyah<sup>1</sup>, Soegeng Rahadhy<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Badan Pengawas Tenaga Nuklir

e-mail: s.sawiyah@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Pengaturan uji kesesuaian tertuang dalam peraturan Kepala Bapeten No. 9 tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional yang merupakan amanat dari Pasal 40 Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Kewajiban uji kesesuaian dimaksudkan untuk memastikan bahwa peralatan yang digunakan dalam prosedur radiologi diagnostik dan intervensional berfungsi dengan benar sehingga pasien tidak mendapat paparan yang tidak diperlukan. Dalam implementasinya Perka Bapeten No. 9 tahun 2011 ini kurang optimal, berbagai persoalan yang selama ini dihadapi pada penerapan Perka ini, diantaranya adalah proses yang lumayan lama dari mulai pelaksanaan uji kesesuaian oleh penguji berkualifikasi hingga terbitnya sertifikat uji kesesuaian oleh tenaga ahli, yang dilakukan oleh 2 (dua) institusi berbeda, selain itu masalah lain adalah sedikitnya jumlah penguji berkualifikasi dan tenaga ahli, sehingga perlu diadakan pengaturan kembali pelaksanaan Uji Kesesuaian pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional agar lebih sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Konsep yang diusung dalam revisi perka adalah pelaksanaan uji kesesuaian secara keseluruhan dilakukan oleh lembaga uji kesesuaian. Didalam lembaga uji kesesuaian ini ada penguji berkualifikasi yang melakukan pengujian di lapangan dan tenaga ahli yang mengevaluasi hasil pengujian, sehingga sertifikat hasil uji kesesuaian dikeluarkan oleh lembaga uji kesesuaian itu sendiri, selain itu revisi perka juga mengatur kembali mengenai kualifikasi tenaga ahli dan penguji berkualifikasi, dan pengaturan ketuntasan uji kebocoran tabung pesawat sinar-X. Manfaat direvisinya perka uji kesesuaian ini diantaranya adalah proses pelaksanaan uji kesesuaian yang diharapkan menjadi lebih singkat dari mulai pengujian hingga keluarnya sertifikat, dan juga diharapkan dapat mengembangkan dan menambah jumlah personil tenaga ahli dan penguji berkualifikasi dengan kualifikasi yang baru ditetapkan. Dalam proses penyusunan perubahan Perka No. 9 Tahun 2011 ini telah banyak menerima usulan dan masukan dari pihak-pihak terkait seperti para tenaga ahli, penguji berkualifikasi, dan pihak pemegang izin. Revisi perka uji kesesuaian ini juga tidak mungkin tanpa risiko dalam implementasinya, risiko tersebut diantaranya adalah adanya konflik di dalam lembaga uji kesesuaian itu sendiri, antara tenaga ahli dan penguji berkualifikasi. Namun risiko tersebut dapat dikendalikan dengan pembinaan dan pengawasan secara rutin dari Bapeten.

**Kata kunci:** uji kesesuaian, penguji berkualifikasi, tenaga ahli, pesawat sinar-X.

### ABSTRACT

*Compliance testing procedure in the Bapeten Chairman Regulation No. 9 of 2011 on X-Ray Interventional and Diagnostic X-Ray equipment which is a mandatory of Article 40 of Government Regulation no. 33 of 2007 on the Safety of Ionizing Radiation and Security of Radioactive Sources . The obligation to perform compliance test for interventional and diagnostic X-ray equipment is to ensure that the equipment used in diagnostic and interventional radiology procedures is functioning correctly so that the patient does not get unnecessary exposure. The BCR No. 9 of 2011 was not implemented well, the problems that have been appeared in the implementation of BCR is long process of compliance testing, from the start of the compliance testing done by the qualified testers to the publish of compliance test certificate issued by experts, which is conducted by 2 (two) different institutions, other implementation problems is the least number of qualified testers and experts, so the BCR No. 9 of 2011 needs to be revised in order to make the implementation more in line with recent science and technology. The most noticeable change in the revision is the overall change of concept of the compliance testing institution. The compliance testing institution employ both qualified testers and experts, so that the certificate of compliance testing issued by The compliance testing institution itself, in addition to the revised is also reorganizing the qualifications of qualified experts and testers, and rearrange the X-ray tube leak test. The benefits of the revision of the compliance test is the process of compliance testing become more shorter and is also expected to develop and increase the number of qualified testers and experts with new qualifications. In the process of preparing the amendment of BCR No. 9 of 2011 has received many suggestions from related parties such as experts, qualified testers, and the licensee. This revision of BCR No. 9 of 2011 is also have risk in implementation, such risks as there is conflict within the compliance testing institution itself, possible conflict between qualified experts and testers. However, these risks can be controlled with regular supervision from Bapeten.*

**Keywords:** *compliance test, qualified tester, expert, x-ray*

## I. PENDAHULUAN

Amanat dari Pasal 40 Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengan dan Keamanan Sumber Radioaktif menyebutkan bahwa pemegang izin wajib melaksanakan uji kesesuaian terhadap pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional.

Pelaksanaan uji kesesuaian dimaksudkan untuk memastikan bahwa peralatan yang digunakan dalam prosedur radiologi diagnostik berfungsi dengan benar sehingga pasien tidak mendapat paparan yang tidak diperlukan dan melalui pelaksanaan uji kesesuaian ini pemegang izin menerapkan program jaminan mutu untuk radiologi diagnostik dan intervensional [1], yang tertuang secara lebih jelas dalam peraturan Kepala Bapeten No. 9 tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial.

Uji kesesuaian mulai diberlakukan tahun 2012 namun dalam implementasinya Perka Bapeten No. 9 tahun 2011 ini kurang optimal sehingga perlu diadakan pengaturan kembali pelaksanaan uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional yang lebih sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah menguraikan perubahan-perubahan yang telah dilakukan terhadap revisi Perka Bapeten No. 9 Tahun 2011 yang dibatasi pada pembahasan mengenai perubahan konsep penguji berkualifikasi menjadi lembaga uji kesesuaian, kualifikasi tenaga ahli, kualifikasi penguji dan parameter pengujian. Metode yang digunakan adalah metode pustaka, yang dilakukan dengan mempelajari dan meriview pustaka yang berhubungan dengan uji kesesuaian, berupa peraturan kepala Bapeten, buku maupun informasi di internet.

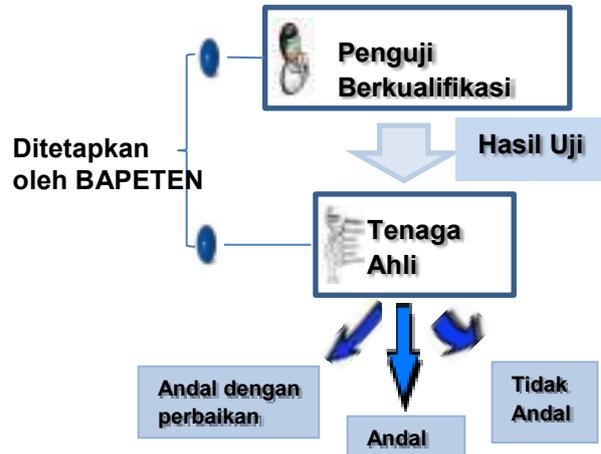
## II. POKOK BAHASAN

Pokok pembahasan pada makalah ini meliputi perubahan-perubahan yang telah dilakukan terhadap revisi Perka Bapeten No. 9 Tahun 2011, yang dibatasi pada perubahan konsep penguji berkualifikasi menjadi lembaga uji kesesuaian, kualifikasi tenaga ahli, kualifikasi penguji dan parameter pengujian.

Berbagai persoalan yang selama ini dihadapi pada penerapan Perka Bapeten No. 9 Tahun 2011, yang menyebabkan implementasinya kurang optimal diantaranya adalah proses yang lumayan lama dari mulai pelaksanaan uji kesesuaian oleh penguji berkualifikasi hingga terbitnya sertifikat uji kesesuaian oleh tenaga ahli, yang dilakukan oleh 2 institusi yang berbeda, selain itu masalah lain adalah sedikitnya jumlah penguji berkualifikasi dan tenaga ahli.

Pada Perka 9 Tahun 2011 Uji Kesesuaian dilaksanakan oleh penguji berkualifikasi yang berasal dari institusi/badan hukum dari swasta maupun pemerintah, dan mengirimkan hasil evaluasi kepada tenaga ahli pada institusi yang berbeda, ditampilkan pada gambar 1. Dalam pelaksanaannya, mekanisme ini cukup menghambat pelaksanaan uji kesesuaian karena keterbatasan jumlah tenaga ahli sehingga terjadi masalah terhadap lamanya penerbitan sertifikat uji

kesesuaian. Hasil uji kesesuaian menumpuk di tenaga ahli menunggu dievaluasi, sementara pihak pemilik pesawat sinar-X menunggu sertifikat uji kesesuaian yang dikeluarkan oleh tenaga ahli untuk memenuhi persyaratan pengurusan izin pemanfaatan pesawat sinar-X. Hal ini menjadi latar belakang perubahan pada konsep pelaksanaan uji kesesuaian yang menjadi salah satu bahan untuk revisi perka no. 9/2011.



**Gambar 1.** Skema pada Perka No. 9/2011

Jumlah tenaga ahli pada saat penyusunan revisi Perka di mulai (tahun 2016) adalah 14 (empat belas) orang yang tersebar di Bapeten dan Universitas Indonesia, dengan kualifikasi lulusan S2 (magister) fisika medik. Sementara jumlah penguji berkualifikasi pada saat itu adalah 28 (dua puluh delapan) instansi. Namun selama tahun 2016 sampai dengan bulan Juni 2017 tenaga ahli hanya dapat mengeluarkan 289 sertifikat uji kesesuaian dari 4532 LHU yang telah disampaikan penguji berkualifikasi kepada tenaga ahli, sebagaimana terlihat pada tabel 1 [2].

**Tabel 1.** Jumlah laporan hasil uji kesesuaian (LHU) tahun 2016 dan 2017 dan jumlah sertifikat yang telah dikeluarkan oleh tenaga ahli [2]

Tahun	Jumlah LHU	Jumlah Sertifikat
2016	2956	286
Juni 2017	1576	3
Jumlah	4532	289

Segala informasi tentang kendala dan persoalan-persoalan dalam implementasi Perka Bapeten No. 9 Tahun 2011 diperoleh penulis dari penelusuran data yang ada pada salah satu unit kerja di Bapeten yang bertindak sebagai sekretariat tenaga ahli, dan dari pengalaman penulis sendiri sebagai tenaga ahli uji kesesuaian, selain itu penulis juga melakukan penelusuran data pada *website* Bapeten *b@lis e-sukses*, yang merupakan *website* uji kesesuaian dimana penguji berkualifikasi mengirimkan hasil uji kesesuaian dan tenaga ahli mengevaluasi secara *online*.

Risiko yang akan kita hadapi jika peraturan uji kesesuaian ini tidak dapat diimplementasikan atau ditiadakan adalah risiko bahaya radiasi terhadap pasien, pekerja dan masyarakat umum. Pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional semakin lama digunakan akan menghasilkan radiasi yang berlebih seiring dengan bertambahnya frekuensi penggunaan dan beban kerja pesawat sinar-X. Sedangkan manfaat dari implementasi peraturan uji kesesuaian adalah adanya kepastian tentang keandalan pesawat sinar-X dan menjamin keselamatan radiasi terhadap pasien, pekerja dan masyarakat umum.

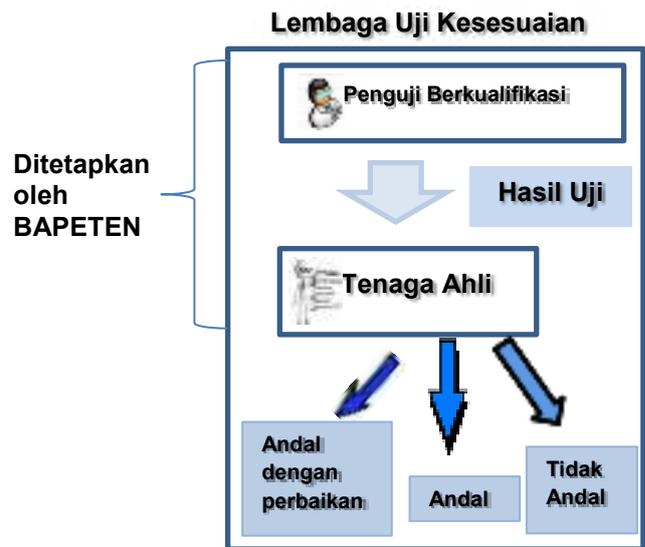
Berdasarkan kondisi yang ada saat ini, penyiapan Sumber Daya Manusia (SDM) untuk menjadi penguji berkualifikasi dan tenaga ahli sangat dibutuhkan. Infrastruktur yang paling dibutuhkan saat ini adalah infrastruktur yang berhubungan dengan pengembangan SDM diantaranya fasilitas atau laboratorium pelaksanaan uji kesesuaian yang lengkap untuk seluruh jenis dan tipe pesawat sinar-X dan perlunya revisi Perka No. 9/2011.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Revisi Perka Bapeten No. 9/2011 merupakan solusi agar uji kesesuaian dapat diimplementasikan di lapangan. Perubahan paling awal pada revisi perka ini adalah redefinisi istilah penguji berkualifikasi, yang awalnya merupakan badan hukum diubah menjadi orang yang melaksanakan uji kesesuaian. Selanjutnya dilakukan perubahan konsep pelaksana uji kesesuaian yaitu uji kesesuaian yang pada Perka No. 9/2011 dilaksanakan oleh penguji berkualifikasi diubah menjadi uji kesesuaian dilaksanakan oleh lembaga uji kesesuaian. Lembaga uji kesesuaian memiliki penguji berkualifikasi dan tenaga ahli sendiri sehingga diharapkan sertifikat uji kesesuaian dikeluarkan oleh lembaga uji kesesuaian itu sendiri, konsep tersebut ditampilkan pada gambar 2.

Sebagai acuan dalam proses revisi konsep Lembaga Uji Kesesuaian dimana tenaga ahli dan penguji berkualifikasi ada dalam satu institusi kurang lebih mengacu pada konsep yang ada di negara bagian Western Australia, Australia, meskipun tidak persis sama [4]. Di Western Australia, tenaga ahli dapat merangkap menjadi penguji berkualifikasi, sebagaimana disebutkan di dalam dokumennya *persons who are approved as qualified experts are also eligible to apply for a compliance testing licence*, namun di revisi perka no. 9/2011 hal tersebut tidak ada, tenaga ahli dan penguji berkualifikasi harus orang yang berbeda.

Isu perubahan berikutnya yang cukup penting dan membutuhkan waktu lama dalam pembahasan adalah kualifikasi tenaga ahli. Pada Perka No. 9/2011. Kualifikasi tenaga ahli adalah lulusan S2 (magister) fisika medik [3], namun dalam implementasinya kurang optimal karena jumlahnya masih terbatas.



**Gambar 2.** Perubahan pada revisi Perka No. 9/2011

Pada draft revisi Perka 9/2011 diusulkan kualifikasi tenaga ahli adalah lulusan S2 (strata dua) ilmu fisika dengan peminatan fisika medik dan pengalaman sebagai penguji berkualifikasi dan telah melakukan uji kesesuaian, serta dibuktikan dengan terbitnya 20 (dua puluh) sertifikat atau notisi untuk masing-masing jenis pesawat sinar-X. Tenaga ahli tersebut juga dapat dilakukan oleh personil dengan kualifikasi lulusan S1 (strata satu) sains atau teknis yang relevan atau yang berhubungan dengan radiasi, DIV (diploma empat) teknik elektromedik dengan pengalaman sebagai penguji berkualifikasi yang telah melakukan uji kesesuaian serta dibuktikan dengan terbitnya 30 (tiga puluh) sertifikat atau notisi untuk masing-masing jenis pesawat sinar-X.

Isu perubahan kualifikasi tenaga ahli ini juga mengacu kepada peraturan negara bagian Western Australia, Australia, dimana disebutkan bahwa kualifikasi untuk tenaga ahli adalah *a university degree in physics, engineering or a related science. In exceptional circumstances a lesser qualification may be acceptable if in combination with demonstrated expertise in a health specific radiation discipline* [4].

Usulan perubahan berikutnya adalah kualifikasi penguji berkualifikasi berlatar belakang pendidikan S1 (strata satu) sains atau teknis yang relevan atau yang berhubungan dengan radiasi dan DIV (diploma empat) teknik radiodiagnostik, teknik radiologi atau teknik elektromedik. Perbedaan usulan ini dengan Perka No. 9/2011 adalah dihapusnya kualifikasi D3 (diploma tiga) untuk menjadi penguji berkualifikasi.

Isu perubahan terakhir yang dibahas dalam makalah ini adalah parameter uji kesesuaian. Ada banyak parameter yang diusulkan untuk ditambahkan dan dikurangkan. Dalam hal ini penulis hanya membahas pada parameter uji kebocoran tabung pesawat sinar-X. Pada Perka 9/2011 parameter uji kebocoran tabung wajib dilakukan terhadap semua pesawat sinar-X namun pada revisi perka, diusulkan agar parameter uji kebocoran tabung tidak diberlakukan untuk semua pesawat sinar-X, namun hanya untuk pesawat sinar-X tertentu saja yaitu pesawat sinar-X

baru, pesawat sinar-X yang mengalami penggantian tabung dan wadah tabung dan pesawat sinar-X terpasang tetap yang pindah ruangan.

Manfaat yang bisa diambil dari revisi perka uji kesesuaian ini diantaranya adalah sertifikat uji kesesuaian dapat dikeluarkan oleh lembaga uji kesesuaian itu sendiri, evaluasi laporan hasil uji kesesuaian dilakukan oleh tenaga ahli yang ada di lembaga uji tersebut sehingga dapat mempercepat proses pelaksanaan uji kesesuaian dari mulai pengujian hingga keluarnya sertifikat, manfaat lainnya adalah dapat mengembangkan dan menambah jumlah personil tenaga ahli dengan kualifikasi yang baru ditetapkan.

Risiko yang akan muncul dari diterapkannya revisi perka uji kesesuaian adalah adanya konflik di dalam lembaga uji kesesuaian itu sendiri dimana tenaga ahli dan penguji berkualifikasi berada dalam satu instansi. Namun risiko tersebut dapat dikendalikan dengan pembinaan dan pengawasan dari Bapeten lewat kegiatan survailan yang dilakukan secara rutin atau berdasarkan pengaduan pelanggan.

Dengan direvisinya perka uji kesesuaian ini diharapkan uji kesesuaian terhadap pesawat sinar-X diagnostik dan intervensional dapat dilaksanakan dengan lebih baik.

#### IV. KESIMPULAN

Perka Bapeten No. 9 tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial dalam proses revisi yang diharapkan revisi ini dapat menjawab persoalan-persoalan yang muncul pada saat implementasi, beberapa revisi yang dilakukan diantaranya meliputi perubahan konsep pelaksana uji kesesuaian yaitu lembaga uji kesesuaian, kualifikasi tenaga ahli dan penguji berkualifikasi serta perubahan ketentuan parameter uji kebocoran tabung.

Beberapa manfaat direvisinya perka uji kesesuaian ini diantaranya adalah proses pelaksanaan uji kesesuaian yang lebih singkat dari mulai pengujian hingga keluarnya sertifikat, karena tenaga ahli dan *qualified expert* ada dalam satu instansi, manfaat lainnya adalah dapat mengembangkan dan menambah jumlah personil tenaga ahli dengan kualifikasi yang baru ditetapkan. Penerapan revisi perka uji kesesuaian juga tidak mungkin tanpa risiko, diantaranya adalah adanya konflik di dalam lembaga uji kesesuaian itu sendiri antara tenaga ahli dan penguji berkualifikasi. Namun risiko tersebut dapat dikendalikan dengan pembinaan dan pengawasan secara rutin dari Bapeten.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses penyusunan revisi Perka No. 9 Tahun 2011, Bapeten ini telah banyak menerima usulan dan masukan dari pihak-pihak terkait, Penulis yang dalam proses penyusunan revisi perka ini bertindak sebagai *legal drafter* mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat diantaranya tim tenaga ahli, para penguji berkualifikasi dan pihak pemegang izin sebagai pemilik pesawat sinar-X. Diharapkan perubahan-perubahan pada revisi Perka No. 9 Tahun 2011 mampu diimplementasikan dengan lebih baik di fasilitas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pencil Dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2] B@lis e sukses, <http://balis-sukses.bapeten.go.id/> status tanggal 7 Juni 2017
- [3] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial.
- [4] Radiation Safety Act 1975 (2000) Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing Program Requirements, Radiological Council, Health Department of Western Australia, Australia
- [5] Bosmans, H (2016), Medical Physics service in Diagnostic and Interventional Radiology (in Belgium)
- [6] Diagnostic x-ray equipment compliance and facility survey, Recommended procedures for equipment and facility testing (1994) Minister of Supply and Services Canada



## TANTANGAN PENERAPAN OPTIMISASI PADA PEMANFAATAN PESAWAT SINAR-X CT SCAN BERDASARKAN HASIL INSPEKSI

Ida Bagus Manuaba<sup>1</sup>, Bambang Riyono<sup>2</sup>

Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN, Jakarta

Email: b.manuaba@bapeten.go.id

Email: b.riyono@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Syarat ketentuan dinding ruangan pesawat sinar-X di dalam Perka Bapeten nomor 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensional berlaku secara umum untuk seluruh jenis pesawat sinar-X radiodiagnostik dan intervensional, dalam kenyataannya tingkat radiasi pengion pada pemanfaatan radiodiagnostik dan intervensional sangat beragam dari satu jenis pemanfaatan dengan pemanfaatan lainnya. Berdasarkan data inspeksi di 50 rumah sakit, laju paparan radiasi di ruang operator CT scan dapat bervariasi mulai dari sedikit di atas laju paparan radiasi latar belakang sampai dengan ratusan kali laju paparan radiasi latar belakang (0,06 – 35  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ), namun demikian hasil perhitungan dosis radiasi tahunan operator CT scan masih di bawah nilai batas dosis radiasi (NBD) tahunan (20 mSv). Dengan lebarnya rentang variasi laju paparan radiasi di sekitar ruang CT scan dari satu rumah sakit dengan rumah sakit lainnya, penulis bermaksud membahas sejauh mana tindakan optimisasi dapat direkomendasikan kepada rumah sakit untuk mengminimalisir dosis radiasi pekerja.

**Kata kunci:** CT scan, radiasi, dosis, optimisasi

### ABSTRACT

*The provisions of the X-ray room wall in the Bapeten Code number 8 of 2011 on Radiation Safety in the Use of Radiodiagnostic and Interventional Utilities is applied generally to all types of radiodiagnostic and interventional X-ray, in fact radiation level of radiodiagnostic and interventional uses vary greatly from one type of utilization to other uses. Based on the inspection data from 50 hospitals, the rate of radiation exposure in the operator room of CT scan may vary from slightly above the rate of background radiation up to hundreds of times the rate of background radiation (0,06 – 35  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ), however the annual radiation dosage of CT scan operators is still below the limit value of annual radiation dose (20 mSv). With the wide range of variations in the rate of radiation exposure around the CT scan from one hospital to another, the author intends to discuss the extent to which optimization measures can be recommended to the hospital to minimize the occupational dose.*

**Keywords:** CT scan, radiation, dose, optimization

### I. PENDAHULUAN

Badan Pengawas Ketenaganukliran memastikan bahwa pemanfaatan sumber radiasi pengion telah memenuhi prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable) dan prinsip SAHARA (Safety as High as Reasonably Achievable) [7].

Tugas badan pengawas dalam menentukan sejauh mana definisi “Reasonably Achievable” dapat layak diterapkan di lapangan merupakan tugas yang tidak mudah karena bukan hanya aspek teknis yang menjadi pertimbangan, tetapi aspek non teknis (ekonomis dan sosial) turut dipertimbangkan pula dalam menentukan batasan-batasan di dalam peraturan yang dikeluarkan oleh badan pengawas [3], [4].

Penulis bermaksud menjelaskan fakta dan permasalahan yang dihadapi inspektur Bapeten dalam melaksanakan pengawasan sumber radiasi pengion pada pemanfaatan pesawat sinar-X CT scan. Permasalahan-permasalahan yang dihadapi tidak lepas dari Perka Bapeten nomor 8 tahun 2011 tentang Keselamatan

Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensional.

Syarat ketentuan dinding ruangan pesawat sinar-X di dalam Perka Bapeten nomor 8 berlaku secara umum untuk seluruh jenis pesawat sinar-X radiodiagnostik dan intervensional, padahal dalam kenyataannya tingkat radiasi sinar-X pada pemanfaatan radiodiagnostik dan intervensional sangat beragam dari satu jenis pemanfaatan dengan pemanfaatan lainnya.

### II. BATASAN PERMASALAHAN

Penerapan optimisasi yang dimaksud dalam makalah ini hanya membahas optimisasi dosis radiasi pekerja di fasilitas CT scan, tidak termasuk pembahasan optimisasi dosis radiasi terhadap pasien CT scan.

### III. DASAR TEORI

Saat merancang fasilitas CT scan baru, desain ruangan harus sesuai dengan standar sehingga dosis

pada pekerja dan anggota masyarakat serendah mungkin dengan mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi. Ini berarti fasilitas harus dirancang sedemikian rupa untuk memastikan radiasi yang diterima pekerja dan anggota masyarakat jauh lebih rendah daripada nilai batas dosis (NBD) yang ditetapkan secara legal [6].

Sesuai Perka Bapeten No 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensial, NBD tahunan pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun dan untuk masyarakat sebesar 1 mSv/tahun. Nilai pembatas dosis (*dose constraint*) untuk keperluan desain bangunan fasilitas diagnostik dan intervensional adalah setengah nilai NBD yaitu 10 mSv/tahun untuk pekerja, dan 0,5 mSv/tahun untuk anggota masyarakat.

Pembatas dosis yang diterapkan dalam perka No 8 tahun 2011 berbeda dengan nilai pembatas dosis di referensi [6]. Berdasarkan referensi [6], pembatas dosis yang digunakan dalam perancangan fasilitas medis diberikan pada Tabel 1. Pembatas dosis ini digunakan dalam situasi fasilitas baru, renovasi fasilitas atau saat peralatan CT scan baru dipasang di fasilitas yang sudah ada [6].

**Tabel 1:** Pembatas Dosis untuk Perancangan Fasilitas Medis [6]

Kategori Pekerja	Dose Constraints (mSv/tahun)
<i>Pekerja Radiasi</i>	1,0
<i>Lainnya</i>	0,3

Pembatas dosis yang disebutkan dalam Tabel 1 merupakan *Time Averaged Dose Rate* (TADR) dalam satuan mSv/tahun. Nilai TADR ini diperoleh dari hasil pengukuran laju dosis paparan radiasi instan (*Instant Dose Rate* : IDR) dengan memperhitungkan beban kerja pesawat sinar-X dan lamanya waktu kerja operator dalam satu tahun [6]. Nilai IDR biasanya dalam satuan  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Nilai pembatas dosis pada Tabel 1 tidak akan bermakna diterapkan pada semua situasi pada pemanfaatan radiografi diagnostik [6]. Hal ini dapat dimengerti mengingat radiasi pada pemanfaatan radiografi diagnostik memiliki orde waktu penyinaran yang sangat singkat.

Berdasarkan Perka Bapeten nomor 8 tahun 2011, dinyatakan bahwa persyaratan ukuran ruang CT scan adalah luas 4 x 6 meter dengan tinggi ruangan 2,8 meter, serta persyaratan dinding ruangan adalah bata merah ketebalan 25 cm (duapuluh lima sentimeter) atau beton dengan kerapatan jenis 2,2 g/cm<sup>3</sup> (dua koma dua gram per sentimeter kubik) dengan ketebalan 20 cm (dua puluh sentimeter) atau setara dengan 2 mm (dua milimeter) timah hitam (Pb).

Pada Pasal 57 ayat (2)b Perka Bapeten nomor 8 tertulis juga pernyataan bahwa jika ruangan pesawat sinar-X memiliki jendela, maka jendela ruangan paling kurang terletak pada ketinggian 2 m (dua meter) dari lantai. Pada Keputusan Kemenkes RI nomor 1014/MENKES/SK/X/2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik juga dijelaskan bahwa ruangan pesawat sinar-X diperbolehkan memiliki ventilasi pada ketinggian 2 meter dari lantai.

Berdasarkan referensi [6] yang terbit pada tahun 2009, Jendela tanpa lapisan Pb pada ketinggian lebih dari 2 m pada mulanya dapat diterima tetapi sesuai dengan perkembangan teknologi dan perkembangan batasan dosis, persyaratan jendela sekarang harus dilapisi dengan Pb [6]. Jika kaca jendela ventilasi udara dibutuhkan, material harus terbuat dari kaca Pb atau akrilik Pb yang disusun secara zig-zag [6].

Untuk ruangan radiodiagnostik, pada umumnya kaca Pb yang dibutuhkan setara dengan 2 mm Pb pada 150 kV tetapi untuk ruangan CT scan multi-slice dan ruangan angiografi, pada umumnya kaca Pb yang dibutuhkan setara dengan 3-4 mm Pb pada 150 kV [6].

Sesuai perkembangan teknologi, ketentuan dinding ruangan pesawat CT scan bervariasi dengan rentang yang lebar tergantung dari spesifikasi teknis CT scannya. Sistem CT scan Multi-slice dan spiral membutuhkan tingkat persyaratan dinding yang lebih tinggi [6]. Namun demikian, penentuan spesifikasi dinding ruangan CT scan berdasarkan kondisi aktual beban kerja, dimensi ruangan dan okupansi ruangan merupakan hal yang penting dan hal tersebut dilakukan oleh Konsultan Proteksi Radiasi yang sudah teregister di badan pengawas [6].

Jumlah dosis radiasi yang diterima pasien CT scan bergantung pada dua faktor utama, yaitu desain pemindai dan juga cara pemindai digunakan. Desain pemindai single-slice dan multi-slice serupa di sebagian besar aspek yang mempengaruhi dosis radiasi, namun pemindaian multi-slice berpotensi menghasilkan risiko radiasi yang lebih tinggi karena peningkatan kemampuan yang memungkinkan penggunaan waktu pindaian yang panjang pada arus tabung tinggi [8].

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data inspeksi (sesuai Lampiran), pada jenis penyinaran CT scan tertentu (kepala) ditemukan laju paparan radiasi di ruang operator CT scan dan daerah sekitar ruangan pesawat CT scan yang sangat beragam dari satu rumah sakit dengan rumah sakit lainnya. Laju paparan radiasi di ruang operator CT scan kadang-kadang ditemukan sangat kecil (sedikit diatas nilai laju paparan radiasi latar belakang) tetapi lebih sering inspektur menemukan laju paparan radiasi pada nilai puluhan dan kadang-kadang ratusan kali lipat radiasi latar belakang.

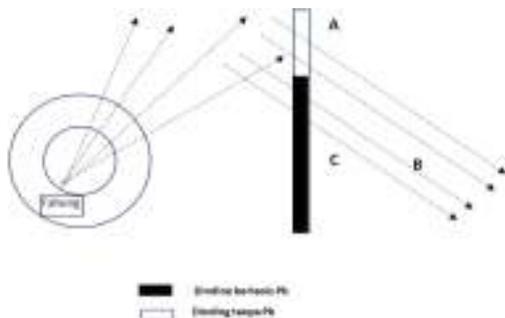
Pada Perka Bapeten nomor 8 Pasal 57 ayat (2)b dan Keputusan Kemenkes nomor 1014/MENKES/SK/X/ 2008 sebagaimana sudah diuraikan pada dasar teori, dimungkinkan manajemen rumah sakit membuat ruangan pesawat CT scan dengan spesifikasi bagian dinding yang dilapisi Pb hanya pada batas ketinggian 2 meter, sehingga kenyataannya di lapangan ditemukan banyak rumah sakit yang memberikan lapisan Pb untuk dinding ruangan CT scan hanya sampai batas ketinggian 2 meter saja, bahkan ditemukan juga sedikit rumah sakit yang memiliki ruangan CT scan berjendela atau kaca pada bagian dindingnya.

Pada saat melakukan inspeksi rumah sakit, inspektur dapat mengetahui batas ketinggian lapisan Pb dengan cara melihat secara kasat mata atau jika batas ketinggian Pb tidak terlihat, dapat dilakukan

dengan cara pengukuran paparan radiasi di sekitar ruangan.

Berdasarkan pengalaman inspeksi, pengukuran laju paparan radiasi di ruangan CT scan yang dindingnya tidak dilapisi Pb dengan ketinggian sampai plafon memiliki karakteristik yang unik, sebagaimana terlihat pada Gambar 1, hasil pengukuran paparan radiasi pada posisi menempel pada dinding (C) lebih kecil dari pada laju paparan radiasi pada posisi sedikit menjauh dari dinding (B), selain itu laju paparan radiasi pada ketinggian diatas 2 meter menunjukkan nilai laju paparan radiasi yang jauh lebih tinggi lagi (A). Dapat dilihat jika laju paparan radiasi pada titik  $A > B > C$ , maka dapat disimpulkan bahwa lapisan Pb tidak penuh sampai dengan plafon.

Sebagaimana kita ketahui, arah radiasi sinar-X pesawat CT scan berputar mengikuti arah rotasi tabung sinar-X. Jika posisi tabung sinar-X di bawah, maka arah radiasi sinar-X CT scan akan mengarah ke atas. Pada posisi inilah laju paparan radiasi sinar-X di luar ruangan CT scan diduga menunjukkan nilai tertinggi. Sinar-X dapat berinteraksi dengan partikel-partikel di udara dan dihamburkan ke segala arah. Hamburan radiasi terbanyak yang dapat melewati bagian dinding tanpa Pb pada ketinggian lebih dari 2 meter, diduga dikontribusi paling banyak oleh radiasi sinar-X yang mengarah ke atas (lihat Gambar 1).



**Gambar 1:** Paparan Radiasi di Ruang Operator CT Scan pada Posisi Tabung X-ray Dibawah

Syarat ketentuan dinding ruangan pesawat sinar-X di dalam Perka Bapeten nomor 8 berlaku secara umum untuk seluruh jenis pesawat sinar-X radiodiagnostik dan intervensional, padahal dalam kenyataannya tingkat radiasi sinar-X pada pemanfaatan radiodiagnostik dan intervensional sangat beragam dari satu jenis pemanfaatan dengan pemanfaatan lainnya, bahkan dalam jenis CT scan sekalipun tingkat intensitas radiasinya berbeda beda sesuai spesifikasi teknisnya. Berdasarkan fakta tersebut perlu adanya kajian tentang perlu tidaknya perubahan peraturan terkait persyaratan dinding ruangan pesawat sinar-X disesuaikan dengan jenis dan spesifikasi teknis pesawat sinar-X.

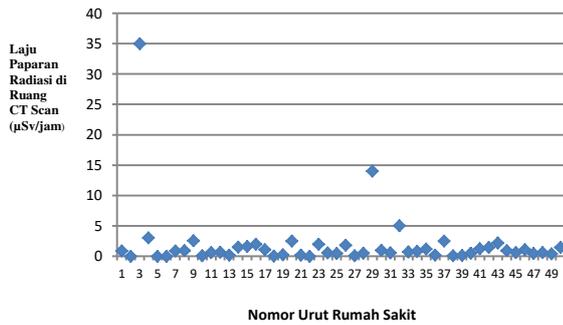
Inspektur di lapangan menghadapi kendala dalam menerapkan prinsip optimasi dosis radiasi pekerja dan masyarakat terhadap fasilitas pengguna CT scan yang ditemukan memiliki tingkat laju paparan radiasi jauh diatas laju paparan radiasi pada umumnya. Hal ini terasa sulit karena secara legal rumah sakit tidak melanggar

aturan tetapi secara teknis menambah ketinggian lapisan Pb merupakan sebuah tindakan perbaikan yang menurut inspektur masih pantas (*reasonable*) untuk dilakukan untuk menekan laju paparan radiasi sekecil mungkin.

Pada Gambar 2 menunjukkan nilai laju paparan radiasi di ruang operator pada 50 rumah sakit dalam satuan  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Pengukuran laju paparan dilakukan pada jenis penyinaran yang sama yaitu penyinaran kepala. Sebagai contoh, kasus rumah sakit nomor 3 pada gambar 2. Pada saat dilakukan inspeksi di rumah sakit tersebut, inspektur berpendapat bahwa menambah ketinggian Pb merupakan tindakan yang cukup pantas untuk menekan laju paparan radiasi yang ditemukan memiliki nilai ratusan kali radiasi latar belakang (yaitu  $35 \mu\text{Sv}/\text{jam} = 700$  kali radiasi latar  $0,05 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ ), tetapi pihak manajemen berpendapat lain, yaitu bahwa berdasarkan hasil perhitungan beban kerja seorang operator CT scan dengan jumlah pasien yang harus ditangani tidak lebih dari 20 orang pasien dan lama penyinaran CT scan (dalam orde detik  $\pm 10$  sd 90 detik), dosis radiasi yang diterima oleh operator tidak akan melebihi nilai NBD tahunan sebesar 20 mSv/tahun dan nilai pembatas dosis desain ( $1/2$  NBD = 10 mSv/tahun), lihat Lampiran 2. Sementara itu Inspektur menjelaskan kepada manajemen rumah sakit bahwa walaupun dosis pekerja tahunan masih dibawah NBD tetapi tindakan proteksi radiasi belum cukup optimal. Inspektur menyimpulkan belum optimal dengan landasan pengetahuan hasil pengukuran di rumah sakit lainnya yang pada umumnya bisa menekan laju radiasi hanya puluhan kali radiasi latar belakang dan bahkan ada beberapa fasilitas CT scan yang dapat menekan paparan radiasi sedikit di atas laju paparan radiasi latar belakang. Inspektur juga menjelaskan bahwa dalam prinsip optimasi selain menerapkan konsep limitasi (NBD), pengguna juga harus menerapkan konsep optimasi.

Dalam contoh kasus rumah sakit diatas, konsep limitasi tidak dilanggar tetapi konsep optimasi tidak dipenuhi karena laju paparan radiasi jauh melebihi laju paparan radiasi di rumah sakit lain pada umumnya sehingga inspektur dapat mengambil keputusan bahwa dilihat dari aspek ekonomi dan sosial masih bisa memungkinkan untuk memberikan rekomendasi menambah ketinggian lapisan Pb.

Pada kasus diatas, tindakan yang dilakukan oleh inspektur untuk mengambil keputusan didasarkan pada pengalaman inspeksi dan pengetahuan individu inspektur tentang konsep optimasi tanpa adanya landasan batasan dalam bentuk peraturan atau kesepakatan bersama di forum inspektur, sehingga perbedaan perlakuan atau rekomendasi untuk kasus yang sama sangat dimungkinkan terjadi antar satu inspektur dengan inspektur lainnya.



**Gambar 2:** Data Inspeksi Laju Paparan Radiasi di Ruang Operator CT Scan pada Jenis Penyinaran Kepala.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Perlu adanya kajian lebih lanjut sebagai masukan perlu tidaknya revisi Perka Bapeten nomor 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensional terkait ketentuan ketebalan dinding atau lapisan Pb dan ketentuan tinggi lapisan Pb minimal di ruangan CT scan. Pada kajian tersebut harus mempertimbangkan spesifikasi tebal dan tinggi dinding disesuaikan dengan spesifikasi teknis CT scan.

Ketentuan desain dinding ruangan CT scan multi-slice dan helical disarankan dikecualikan dari ketentuan dinding ruangan pemanfaatan radiodiagnostik lainnya.

Perlu adanya kajian lebih lanjut untuk menentukan batas aman laju dosis radiasi instan

dikaitkan dengan beban kerja operator CT scan sebagai panduan praktis bagi para inspektur untuk mengambil keputusan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Kemenkes RI nomor 1014/MENKES/SK/X/2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik di Sarana Pelayanan Kesehatan.
- [2] Perka Bapeten nomor 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiodiagnostik dan Intervensional.
- [3] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [4] General Safety Requirements Part 3; Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.
- [5] General Shielding Requirements For Diagnostic X-Ray Facilities, Western Australia, 2004.
- [6] The Design of Diagnostic Medical Facilities where Ionising Radiation is used, A Code of Practice issued by the Radiological Protection Institute of Ireland, June 2009.
- [7] Reiman, T & Norros, L, Regulatory Culture: Balancing Regulatory Demands of Regulatory Practice in Nuclear Industry.
- [8] Maria Lewis, Radiation Dose Issues in Multi-slice CT scanning, ImPACT technology update no. 3, Januari 2005.

## Lampiran 1

**DATA INSPEKSI**  
**PENGUKURAN PAPARAN RADIASI DI RUANG OPERATOR DAN SEKITAR RUANGAN PESAWAT**  
**SINAR-X CT SCAN PADA PENYINARAN KEPALA**

No	Pesawat sinar-X	Tipe	Jenis Penyinaran	laju paparan maksimum $\mu\text{Sv}/\text{jam}$		
				Operator	sekitar	Pintu
1.	Philips CT Scan	MX135CT-H1/D316IT	Kepala	0,9	BG	-
2.	Siemens Somatom Emotion	THA DURA 202 mV	Kepala	BG	BG	-
3.	<b>Philips CT Scan</b>	<b>980605800103</b>	<b>Kepala</b>	<b>35</b>	<b>BG</b>	-
4.	Siemens Somatom Emotion	THA DURA 442 mV	Kepala	3,01	BG	1,3
5.	GE Lightspeed VCT	MX240MCT	Kepala	BG	BG	-
6.	GE	MX 135 CT	Kepala	BG	BG	BG
7.	Siemens Somatom Definition	Straton MXP	Kepala	0,9	1,6	-
8.	Toshiba TSX 031A	CXB 400C	Kepala	0,95	-	-
9.	Siemens Somatom Sensation 64	Straton Z	Kepala	2,58	1,49	1,49
10.	GE	46-274891G1	Kepala	0,1	0,09	
11.	Toshiba TCT 300 S CT-Scan	TCT 3005	Kepala	0,6	0,15	0,2
12.	Siemens	Siemens Somatom 16	Kepala	0,64	1,5	-
13.	GE	Brivo CT325	Kepala	0,2	0,2	-
14.	Siemens	Siemens Somatom	Kepala	1,5	BG	-
15.	GE LightspeedQXi/Plus	MX 200	Kepala	1,6	-	7,1
16.	Siemens	Dura 422	Kepala	2	0,8	
17.	Philips	980000085271	Kepala	1,1	1,8	1,8
18.	GE CT Scan Optima 660	D3188T	Kepala	0,06	0,06	0,06
19.	Siemens Somatom Definition AS	Straton MX	Kepala	0,25	0,07	-
20.	Hitachi CT-Scanner	GS-3070	Kepala	2,5	BG	-
21.	Toshiba	TCT - 300	Kepala	0,2	-	0,58
22.	GE Brivo 385	D3162T	Kepala	BG	BG	
23.	CT Scan Siemens Somatom		Kepala	1,97	1,24	2,5
24.	CT Scan GE Bright Speed		Kepala	0,56	-	0,33
25.	Hitachi Eclos 16		Kepala	0,45	-	
26.	GE CT Scan Optima		Kepala	1,81	-	0,63
27.	Hitachi Pratico	UKM5TA-01V	Kepala	0,11	-	1,32
28.	Toshiba TSX-021B Asteion tipe	CSR-9144M	Kepala	0,5	BG	-
29.	Hitachi	ECLOS.	Kepala	14	0,05	-
30.	Phillips Brilliance CT 64		Kepala	1	-	0,51
31.	GE Optima CT660	D3887T	Kepala	0,54	-	-
32.	Philips ingenuity Core 128		Kepala	5,03	1,041	-
33.	Toshiba Asteion Super 4CT Scan	CSR - 9144M	Kepala	0,74	0,33	-
34.	Brivo GE / BrivoCT 325	46-274891GI	Kepala	0,8	2,4	-
35.	Thosiba	GS-3078	Kepala	1,2	0,96	-
36.	Philips MX16 Slices CT Scan	DU 5008C	Kepala	0,17	2,8	
37.	Hitachi	G5-4570	Kepala	2,5	2,49	13,6
38.	Toshiba Alexion		Kepala	0,09	0,96	1,1
39.	GE Optima CT 660	5401074	Kepala	0,13	2,54	
40.	Toshiba CT- Scan TSX 021B	CXB-400C	Kepala	0,53	0,16	

41.	Toshiba Alexion	B-240H	Kepala	1,22	1,44	
42.	Toshiba Alexion	CSR-9144M	Kepala	1,47	9,51	6,3
43.	GE Hi Speed	D3142T	Kepala	2,17	4,14	
44.	Toshiba	CXB-200E	Kepala	0,95		
45.	Siemens Somatom Scope Power	MCT-172	Kepala	0,6	0,4	
46.	Toshiba	CSR9344M	Kepala	1,1	1,9	
47.	Siemens	MCT 172	Kepala	0,45		
48.	Varian	GS 2072	Kepala	0,63	2,03	
49.	Siemens CT-Scan	Straton MXP	Kepala	0,4	1,36	
50.	Toshiba Alexion	CSR-9144M	Kepala	1,47	9,51	6,3

## LAMPIRAN 2 : Perhitungan Dosis Radiasi Tahunan Operator CT Scan

	Asumsi maksimum	satuan	
laju dosis maksimum di ruang operator:	35	$\mu\text{Sv}/\text{jam}$	atau
jumlah pasien per hari per operator:	20	pasien/hari	0.009722
lama exposi rata-rata:	30	detik/pasien	$\mu\text{Sv}/\text{detik}$
Jumlah hari kerja setahun:	261	hari/tahun	

Dosis Radiasi Operator CT Scan per tahun	1520.8	$\mu\text{Sv}/\text{tahun}$	1.521	$\text{mSv}/\text{tahun}$
--	--------	-----------------------------	-------	---------------------------

DIBAWAH NBD 20  $\text{mSv}/\text{tahun}$ 

## Referensi 6

Dose Constraint pekerja 1  $\text{mSv}/\text{tahun}$   
 Dose Constraint masyarakat 0,3  $\text{mSv}/\text{jam}$

## Bapeten

Dose constraint pekerja  
 Dose Constraint masyarakat

10  $\text{mSv}/\text{jam}$   
 0,5  $\text{mSv}/\text{jam}$



## TINJAUAN PENGELOLAAN *DISUSED SEALED RADIOACTIVE SOURCES* (DSRS) DARI PERSPEKTIF PENGATURAN

**Soegeng Rahadhy**

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

e-mail: [s.rahadhy@bapeten.go.id](mailto:s.rahadhy@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus sangat bervariasi digunakan di berbagai bidang, namun demikian jika penggunaannya tidak diawasi dengan baik maka akan menimbulkan persoalan di masa mendatang, terutama terhadap lingkungan pada generasi mendatang. Potensi sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan lagi yang dikenal dengan DSRS cukup besar mengingat di Indonesia penggunaan *Sealed Radioactive Sources* (SRS) relatif banyak digunakan di bidang medis, industri, dan riset. Potensi DSRS menjadi lebih berbahaya jika penanganannya tidak dilakukan secara baik dan benar. Melalui makalah ini diusulkan tentang cara pengelolaan limbah tersebut dari perspektif pengaturan, baik dari peraturan yang sudah ada maupun yang akan disusun dengan cara membandingkan referensi atau studi literatur. Pada dasarnya, pengelolaan limbah radioaktif dengan DSRS termasuk didalamnya sudah diatur dalam peraturan perundangan yang dimulai dari undang-undang sampai dengan peraturan Kepala BAPETEN. Namun implementasinya harus lebih dilakukan dan dikontrol lebih baik lagi untuk menghindari permasalahan di masa mendatang. Untuk itu diperlukan peran penting penghasil limbah radioaktif, pengelola limbah radioaktif dan *regulator* sehingga mereka harus berada dalam satu barisan (*in line*) untuk mendukung program pengelolaan limbah radioaktif yang terintegrasi dengan memainkan perannya masing-masing secara baik.

**Kata kunci:** DSRS, limbah radioaktif, peraturan.

### ABSTRACT

*Radioactive sources / sealed radioactive sources are used in various fields, but if they are not controlled properly it will create problems in the future, especially the environment for the next generations. The potential of disused radioactive sources / disused sealed radioactive sources as known as DSRS is relatively high considering in Indonesia the use of sealed radioactive sources (SRS) is widely used in the medical, industrial and research fields. The potential of DSRS become more risky when the handling is not worked properly and correctly. Through this paper, it is proposed on how to manage the radioactive waste from a regulatory perspective, either from existing or planned regulations by reviewing references. Basically, the regulation for management of radioactive waste including DSRS is already regulated starting from the Act to the Chairman Regulations. But its implementation should be more implemented and good controlled to avoid any problems in the future. Radioactive waste generators, manager of radioactive waste facility and regulators must be worked in line to support an integrated radioactive waste management program by playing their respective roles as well.*

**Keywords:** DSRS, radioactive waste, regulations

## I. PENDAHULUAN

### Perkembangan iptek terkait penggunaan SRS

Sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus sangat bervariasi digunakan di berbagai bidang, namun demikian penggunaannya harus diawasi dengan baik. Secara umum, penggunaan sumber radioaktif dilakukan pada bidang medik, sistem pengukuran ketebalan, densitas dan *level*, sistem pencitraan, iradiasi produk, analisa material dan lain-lain.

Salah satu contoh pemanfaatan sumber radioaktif di bidang medik adalah penggunaan sumber Co-60 dalam teknik teleterapi. Teleterapi merupakan salah cara membunuh kanker dengan menyinari tumor/kanker di dalam tubuh menggunakan zat radioaktif tersebut dengan dosis tertentu. Sedangkan di bidang non-medik sumber radioaktif digunakan pada iradiasi produk. Sumber radioaktif tersebut digunakan

untuk mensterilisasi produk seperti bumbu-bumbuan dengan dosis tertentu agar membunuh jamur atau bakteri.

Penggunaan sumber radioaktif lainnya seperti pengukuran ketebalan produk seperti kertas atau plastik. Produsen minuman kaleng/botol atau pabrik semen juga menggunakan sistem pengukuran ini sebagai sistem *level gauging*. Sementara pabrik rokok memanfaatkan sistem pengukuran ini sebagai *density gauging*. Radiografi industri sebagai salah satu bagian dari industri *Non Destructive Test* atau NDT juga menggunakan sumber radioaktif sebagai salah bagian dari cara kerjanya[3].

Tabel 1 di bawah ini memperlihatkan jenis sumber dan aktivitas sumber radioaktif yang digunakan dalam pemanfaatan tenaga nuklir.

**Tabel. 1.** Pemanfaatan dan Jenis Sumber Radioaktif [3]

No	Penggunaan	Jenis Sumber Radioaktif	Aktivitas
1.	Sterilisasi	Co-60	5 MCi
2.	Teleterapi	Co-60	10 kCi
3.	Gauging	Cs-137	10 mCi - 10 Ci
		Co-60	1 mCi - 1 Ci
		Am-241	10 mCi - 3 Ci
		Sr-90	10 mCi - 100 mCi
		Kr-85	10 mCi - 500 mCi
		Pm-147	100 mCi - 500 mCi
4.	NDT/ radiografi	Ir-192	150 Ci
		Se-75	70 Ci
		Yb-169	20 Ci
		Co-60	10 Ci
		Cs-137	10 Ci
5.	Well logging	Cs-137	1 Ci - 3 Ci
		Am-Be 241	2 Ci - 20 Ci
6.	Gamma knife	Co-60	20 Ci

## II. LANDASAN TEORI

### Potensi sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (DSRS) di Indonesia

Perkembangan ilmu dan teknologi nuklir berkembang dengan pesat yang mewarnai berbagai bidang di dunia. Bidang yang termasuk dalam rangkaian perkembangan tersebut meliputi bidang industri, medis dan pengembangan riset/penelitian. Indonesia adalah salah satu negara yang mengikuti dan terkena dampak perkembangan teknologi nuklir tersebut.

Berdasarkan data *BAPETEN License and Inspection System* yang selanjutnya dikenal dengan sebutan B@LIS, penggunaan teknologi nuklir yang secara spesifik menggunakan sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus adalah pemanfaatan tenaga nuklir untuk *materials analysis (well logging)*, *gauging system* (ketebalan, densitas dan ketinggian), *imaging systems* (radiografi industri), penggunaan di bidang medis (kedokteran nuklir, teleterapi dan radioterapi). Data pemanfaatan sumber radioaktif di Indonesia ditampilkan dalam Tabel 2 yang diperoleh berdasarkan B@LIS pada medio Juni 2017 adalah sebagai berikut:

**Tabel. 2.** Pemanfaatan Sumber Radioaktif di Indonesia [1]

No.	Jenis Pemanfaatan	Jumlah Sumber
1.	Well Logging	1744
2.	Gauging	2116
3.	Radiografi Industri	254
4.	Iradiator	145
5.	Radioterapi	226

Jika dilihat dari tabel tersebut di atas, Indonesia berpotensi memiliki sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus bekas atau yang tidak digunakan lagi hampir mendekati 4.500 sumber radioaktif. Perhitungan jumlah tersebut dengan mengasumsikan bahwa setiap pemegang izin selalu menyerahkan limbah radioaktif/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan tersebut kepada pengelola limbah atau BATAN. Walaupun dalam kenyataan sebenarnya sebagian pemegang izin akan menyerahkan limbah

radioaktif ke negara asal. Perlu diketahui bahwa BATAN merupakan instansi yang mempunyai kewenangan untuk melaksanakan pengelolaan limbah radioaktif yang berasal dari penghasil limbah radioaktif lain yang telah diserahkan kepadanya[7]

### Cradle to grave approach[6]

*Cradle to grave* dilakukan sebagai cara pendekatan untuk mengawasi secara seksama seluruh tahapan siklus hidup/*lifetime* sumber radioaktif, mulai dari tahap produksi sumber radioaktif sampai dengan tahap *disposal*. Proses tersebut harus dikawal dengan baik sehingga tidak ada dalam tahapan siklus tersebut yang menyebabkan sumber radioaktif tidak terkontrol dengan sebenarnya. Prinsip ini sangat memungkinkan memberikan perlindungan terhadap lingkungan dari efek merugikan sumber radioaktif yang tidak digunakan/bekas tidak terkontrol sehingga dapat melindungi dan menjamin generasi mendatang dalam ikut menikmati lingkungan yang baik.

## III. POKOK BAHASAN

Makalah ini dibatasi pada pembahasan bagaimana pengelolaan terhadap potensi sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (DSRS) lagi dapat dilakukan sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku. Dalam melakukan penulisan makalah ini, penulis melakukan metode studi literatur yaitu dengan membaca dan membahas referensi-referensi yang sesuai dengan topik bahasan yang dimaksud, terutama keterkaitannya dengan peraturan perundangan.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaturan pengelolaan limbah radioaktif termasuk zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (DSRS)

Pada dasarnya Indonesia telah mengatur bagaimana cara menangani limbah radioaktif sebagai hasil akhir pemanfaatan tenaga nuklir. Sejak tahun 1964, limbah radioaktif telah disinggung di dalam penjelasan Undang-Undang Nomor 31 Tahun 1964 tentang Ketentuan-Ketentuan Pokok Tenaga Atom (Lembaran Negara Tahun 1964 Nomor 124). Selanjutnya, dalam Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, sebagai pengganti Undang-Undang Nomor 31 tahun 1964, pengaturan limbah radioaktif dinyatakan secara spesifik pada bab tentang pengelolaan limbah radioaktif. Di dalam bab tersebut diatur tentang bagaimana mengelola limbah secara baik yang terlebih dahulu diklasifikasikan sebagai jenis limbah radioaktif tingkat rendah, sedang dan tinggi. Bab tersebut secara umum juga mengatur tentang kewajiban penghasil limbah dalam mengumpulkan, mengelompokkan atau mengolah dan menyimpan sementara limbah yang dihasilkannya sebelum diserahkan kepada badan pelaksana pengelola limbah radioaktif, dalam hal ini BATAN. Selain pengaturan tersebut di atas, BATAN sebagai lembaga yang ditunjuk dalam pengelolaan limbah radioaktif juga harus mempersiapkan tempat penyimpanan limbah radioaktif jangka panjang sebagai salah satu opsi penangan limbah tersebut, khususnya untuk limbah

radioaktif tingkat tinggi[2]. Yang dimaksud limbah radioaktif berdasarkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi.

Selanjutnya, untuk lebih implementatif penggunaannya di lapangan dan juga meneruskan amanat Undang-Undang 10 Tahun 1997, khususnya tentang pengelolaan limbah maka diterbitkan Peraturan Pemerintah Nomor 27 Tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif. Namun dalam perjalanan waktu, Peraturan Pemerintah tersebut digantikan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 dengan pokok bahasan dan judul yang sama. Kedua Peraturan Pemerintah tersebut pada dasarnya bertujuan untuk mengatur pengelolaan limbah radioaktif secara baik karena jika limbah radioaktif tidak dikelola secara tepat guna dan berhasil guna dengan cara dan metode yang akurat sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maka akan mempunyai potensi membahayakan keselamatan, keamanan, dan kesehatan terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup serta dapat membahayakan generasi masa depan[7]. Pendekatan *cradle to grave* akan menjadi pendukung nyata dalam pengelolaan limbah radioaktif.

Selain peraturan-peraturan tersebut di atas, BAPETEN menerbitkan satu peraturan kepala BAPETEN yang ikut mengatur tentang penanganan limbah radioaktif. Peraturan tersebut adalah Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang. Peraturan Kepala ini merupakan derivasi dari Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 untuk melaksanakan ketentuan Pasal 15 ayat (2) dan Pasal 22 ayat (3). Peraturan Kepala BAPETEN ini sudah secara spesifik mengatur tentang bagaimana cara mengolah limbah radioaktif yang didedikasikan untuk limbah tingkat rendah dan tingkat sedang. Pengaturan tentang pengelolaan zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan atau DSRS terdapat pada Bab III Peraturan Kepala BAPETEN tersebut.

### **Pengaturan pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia**

Telah dinyatakan sebelumnya bahwa limbah radioaktif dapat diklasifikasikan dalam limbah radioaktif tingkat rendah, sedang dan tinggi. Berdasarkan Pasal 2 ayat (2) Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013, *Diused Sealed Radioactive Sources*/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai limbah radioaktif tingkat rendah atau sedang.

Pada saat zat radioaktif terbungkus dinyatakan tidak digunakan oleh pemegang izin maka sumber tersebut sudah menjadi limbah radioaktif dalam sudut pandang pemegang izin. Dalam bahasa peraturan disebut sebagai zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan atau DSRS. Pemegang izin berkewajiban untuk melakukan pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif tersebut sebelum melakukan tindakan untuk mengirimkan kembali zat radioaktif terbungkus yang

tidak digunakan ke negara asal atau menyerahkannya kepada BATAN sebagai limbah radioaktif.

Proses pengiriman limbah radioaktif tersebut harus mendapat persetujuan pengiriman kembali ke negara asal dari Kepala BAPETEN yang pengaturannya ditetapkan pada persyaratan perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion. Pengiriman tersebut dilakukan oleh penghasil limbah radioaktif sepanjang persetujuan pengiriman masih berlaku. Selanjutnya, penghasil limbah radioaktif wajib melaporkan pelaksanaan kegiatan tersebut kepada BAPETEN dalam kurun waktu 14 (empat belas) hari terhitung sejak saat pelaksanaan pengiriman tersebut. Jika semua ketentuan tersebut tidak dilaksanakan, maka penghasil limbah radioaktif akan mendapatkan sanksi administrasi secara bertahap yaitu sanksi peringatan tertulis, penghentian sementara beroperasinya fasilitas/instalasi atau sanksi pencabutan izin.

Penghasil limbah radioaktif juga diberikan pilihan untuk menyerahkan limbahnya kepada pengelola atau BATAN yang tentunya setelah mendapatkan persetujuan pengiriman dari BAPETEN. Untuk pelaksanaannya, penghasil limbah radioaktif harus melaksanakan dalam jangka waktu 14 (empat belas) hari sejak diterbitkan persetujuan pengiriman dan dibuktikan dengan berita serah terima limbah radioaktif yang dibuat oleh pengelola limbah radioaktif[5].

Untuk menghapus data zat radioaktif terbungkus tersebut dari B@LIS atau *data base* perizinan BAPETEN maka penghasil limbah radioaktif wajib mengajukan penetapan penghentian kegiatan yang menggunakan zat radioaktif tersebut kepada BAPETEN sehingga izin pemanfaatan yang dimiliki penghasil limbah radioaktif tidak akan tercatat lagi dalam *data base* perizinan BAPETEN sebagai pihak yang menggunakan zat radioaktif tersebut[4].

BATAN sebagai pihak yang melaksanakan pengelolaan limbah radioaktif, salah satunya adalah zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan berkewajiban melakukan proses pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan tersebut. Selama melakukan kedua proses kegiatan tersebut, BATAN diperbolehkan melakukan kajian terhadap zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan untuk menentukan apakah zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan dapat digunakan kembali (*reuse*), dapat didaur ulang (*recycle*) atau menjadi limbah radioaktif (*disposal*). Dalam melakukan kajian tersebut, BATAN harus menerbitkan laporan hasil kajian penentuan terhadap zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan. Pelaksanaan kajian harus dilakukan berdasarkan prosedur yang telah ditetapkan serta memenuhi standar, pedoman dan persyaratan yang telah ditentukan oleh BATAN.

### **Peran penghasil limbah radioaktif, pengelola limbah radioaktif dan regulator**

Penghasil limbah radioaktif sekaligus pemegang izin berkewajiban untuk melakukan kegiatan pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan lagi. Pada prosesnya, kegiatan tersebut tentunya memerlukan persyaratan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pada tahap ini,

penghasil limbah radioaktif memerlukan tempat penyimpanan yang representatif, artinya wajib menyediakan tempat yang memenuhi standar keselamatan, keamanan dan proteksi radiasi yang memadai. Selain itu, untuk mendukung perlindungan terhadap lingkungan hidup sebaiknya penghasil limbah radioaktif mempunyai rencana besar dalam penanganan limbah radioaktif misalnya dengan memasukan klausul pengembalian limbah radioaktif ke negara asal pada kontrak kerja atau kontrak impor zat radioaktif terbungkus.

Pengelola limbah radioaktif dapat berperan dalam menyediakan tempat penyimpanan limbah radioaktif untuk zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (DSRS) sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi terbaru yang tertuang dalam *road map* pengelolaan limbahradioaktif dengan tetap melaksanakan prinsip dan standar keselamatan, keamanan dan proteksi radiasi, misalnya menggunakan teknologi *borehole disposal of sealed radioactive source*. Meskipun sekarang masih menggunakan teknologi yang lain, namun prinsip dan standar keselamatan, keamanan dan proteksi radiasi tetap dijadikan fokus utama dalam pengelolaan limbah radioaktif. Selain itu, pengelola limbah juga agar melakukan kajian yang lebih komprehensif dalam menentukan DSRS sebelum dijadikan limbah radioaktif dengan memperhitungkan faktor sosial dan ekonomi.

Regulator mempunyai peran yang sangat penting dalam menjaga pengelolaan limbah radioaktif tersebut menjadi implementatif dengan memperhitungkan faktor sosial, ekonomi, proteksi radiasi, lingkungan dan faktor lainnya yang mendukung penyusunan peraturan. Salah satu faktor yang perlu dinyatakan dengan eksplisit adalah pengaturan opsi pengembalian zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan menjadi pilihan utama penghasil limbah radioaktif dalam pengolahan limbah radioaktif. Selain itu, aspek pengaturan terkait dengan keselamatan, keamanan, proteksi radiasi, perlindungan lingkungan dan perlindungan terhadap generasi di masa mendatang harus dijadikan perhitungan dalam penyusunan peraturan.

## V. KESIMPULAN

Pengelolaan limbah radioaktif dalam hal ini sumber radioaktif/zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (DSRS) dapat dijadikan perhatian/*concern* badan pengawas dalam membentuk peraturan perundangan mengingat jumlahnya yang relatif cukup banyak. Dengan mengacu pada standar internasional terkini, regulasi negara lain yang telah maju, dan perkembangan ilmu dan teknologi di bidang ketenaganukliran, badan pengawas dapat melakukan kegiatan pembentukan peraturan perundangan secara komprehensif dan *up to date*, yang tentunya setelah melalui proses adopsi dan adaptasi yang baik.

Dalam konteks pengelolaan limbah radioaktif, prinsip *cradle to grave* harus selalu dijadikan dasar dalam pengelolaan limbah radioaktif agar generasi mendatang memperoleh dan menikmati lingkungan sedikitnya sama dengan lingkungan yang diterima dan dirasakan oleh generasi sekarang.

Selanjutnya, para pihak yang terlibat dalam proses pengelolaan limbah radioaktif juga harus berperan secara baik dan aktif dalam mendukung kesuksesan proses tersebut. Keterlibatan para pihak tersebut antara lain melalui:

1. Peran pemegang izin dalam pembelian atau impor harus lebih ditingkatkan (dikuatkan) khususnya dalam bernegosiasi dengan pabrikan atau *supplier* zat radioaktif terbungkus dengan memastikan bahwa sumber bekas atau zat radioaktif terbungkus yang nantinya tidak digunakan akan dikembalikan ke negara asal yang menjadi bagian dalam klausul kontrak pembelian zat radioaktif tersebut.
2. Peran BATAN sebagai pengelola limbah radioaktif harus ditingkatkan dan membuat *road map* bagaimana cara mengelola limbah radioaktif dan tempat pengelolaannya yang sesuai dengan teknologi terbaru dan selalu mentaati peraturan yang berlaku.
3. Peran BAPETEN dalam membentuk peraturan perundangan antara lain dengan menyatakan secara tegas dalam peraturan yang disusun BAPETEN bahwa setiap sumber radioaktif yang diimpor dari luar negeri, limbahnya harus dikembalikan ke negara asal tanpa alasan apapun kecuali ada urgensi yang sangat kuat seperti perusahaan tersebut bangkrut. Serta dibuatkan surat perjanjian saat pembelian/ mengimpor bahwa sumber bekas harus dikembalikan ke negara asal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] *BAPETEN Licencing and Inspection System (B@LIS)*
- [2] Undang-Undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
- [3] *IAEA Identification of Radioactive Sources and Devices, IAEA Nuclear Security Series No.5, IAEA, Vienna, 2007*
- [4] Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir
- [5] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang
- [6] *Glossary IAEA, Vienna, 2007*
- [7] Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif



## DAFTAR PEMERIKSAAN UJI KOMISIONING IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI IV

Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN

e-mail: c.dwipayana@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Iradiator dengan zat radioaktif terbungkus kategori IV adalah jenis iradiator yang paling umum digunakan untuk iradiasi makanan atau sterilisasi peralatan kesehatan. Untuk memperoleh izin operasi iradiator dengan zat radioaktif terbungkus kategori IV diperlukan laporan uji komisioning. Uji komisioning dilakukan untuk memastikan semua persyaratan keselamatan radiasi telah dipenuhi secara benar. Untuk memudahkan verifikasi perizinan ataupun inspeksi diperlukan daftar pemeriksaan uji komisioning. Daftar pemeriksaan uji komisioning berisi fitur keselamatan yang perlu ada dan kriteria keberterimaannya. Seluruh ketentuan keselamatan harus dipenuhi dan semua fitur harus bekerja dengan baik tanpa terkecuali. Jika terdapat fitur yang mengalami kegagalan uji komisioning maka iradiator tidak dapat dioperasikan dan mungkin dapat menimbulkan resiko kecelakaan radiasi. Performa fitur keselamatan harus diimbangi dengan performa prosedur operasi yang baik. Walaupun fasilitas iradiator memenuhi semua ketentuan uji komisioning, jika prosedur operasinya tidak baik, maka keselamatan radiasi tidak akan tercapai dan resiko kecelakaan radiasi masih tetap ada.

**Kata kunci:** pemeriksaan, komisioning, iradiator, kategori IV

### ABSTRACT

*Gamma Irradiator category IV are the most common types of irradiators used for food irradiation or sterilization of health equipment. To obtain gamma irradiator category IV operation license required commissioning test report. A commissioning test is performed to ensure that all radiation safety requirements are met correctly. To facilitate the verification of licensing or inspection required a commissioning test checklist. The commissioning test checklist contains the safety features that need to be present and the acceptance criteria. All safety requirements must be fulfilled and all features should work properly without exception. If there is a feature that fails in the commissioning test then the irradiator can not be operated and may cause the risk of a radiation accident. The performance of safety features should be balanced with good operating procedure performance. Occasionally irradiator facilities meet all requirements of the commissioning test, if the operating procedure is not good, then radiation safety will not be achieved and the risk of accidents still exist.*

**Keywords:** checklist, commissioning, irradiator, category IV.

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber radiasi pengion membawa banyak manfaat bagi kehidupan manusia, dari pembangkitan energi sampai penggunaan di bidang medik, industri dan pertanian. Iradiator yang menggunakan sumber radiasi pengion dimanfaatkan di berbagai bidang seperti iradiasi makanan dan sterilisasi peralatan kesehatan. Bagaimanapun, radiasi pengion dapat juga berbahaya jika tidak diawasi secara benar. Iradiator menghasilkan laju dosis yang sangat tinggi selama proses iradiasi, sehingga jika ada orang yang secara tidak sengaja berada di ruang iradiasi dapat memperoleh dosis lethal dalam hitungan menit atau bahkan detik [1].

Salah satu instrumen peraturan yang telah ada terkait keselamatan radiasi dalam penggunaan iradiator adalah Peraturan Kepala BAPETEN (Perka) Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator [2]. Namun Peraturan ini sudah cukup lama sehingga perlu dilakukan penyesuaian. Pada tahun

2016 Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif memiliki kegiatan penyusunan Rancangan Peraturan Kepala (Raperka) BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator. Status terakhir Raperka ini adalah ditampilkan di laman Jaringan Data dan Informasi Hukum BAPETEN untuk memperoleh masukan dari para pemangku kepentingan [3]. Raperka ini disusun dengan melakukan adopsi dan adaptasi dari dokumen IAEA *Specific Safety Guide 8 on Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities* (SSG 8) [1].

Di dalam raperka ini dinyatakan bahwa untuk memperoleh izin operasi iradiator dengan zat radioaktif terbungkus kategori IV diperlukan laporan uji komisioning. Uji komisioning dilakukan untuk memastikan semua persyaratan keselamatan radiasi telah dipenuhi secara benar. Persyaratan keselamatan radiasi yang harus dipenuhi masih dalam bentuk bahasa hukum sehingga untuk keperluan verifikasi perizinan

ataupun inspeksi diperlukan penyederhanaan dalam bentuk daftar pemeriksaan uji komisioning. Daftar pemeriksaan uji komisioning berisi fitur keselamatan yang perlu ada dan kriteria keberterimaannya. Daftar pemeriksaan uji komisioning yang dibuat diharapkan dapat memudahkan verifikator, inspektur ataupun pemegang izin untuk melakukan komisioning.

## II. LANDASAN TEORI

Dalam Raperka BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator yang sedang disusun, terdapat persyaratan teknik yang harus dipenuhi dalam uji komisioning. Berikut beberapa persyaratan teknik tersebut:

### 1. Ruang Kendali (Control Room)

Pasal 61 menyebutkan bahwa Fasilitas Iradiator harus memiliki ruang kendali yang memiliki fitur paling kurang:

- indikator status sistem keselamatan;
- tombol emergency penghenti operasi;
- kunci tunggal yang selalu terhubung dengan alat monitor radiasi portable;
- indikator status sumber radiasi; dan
- monitor radiasi;

Persyaratan ini juga disebutkan dalam SSG 8 poin 8.20 sampai 8.24. Salah satu yang dijelaskan lebih rinci adalah kunci tunggal yang selalu terhubung dengan alat monitor radiasi *portable*. Persyaratan ini memungkinkan pekerja dapat mengetahui ada atau tidaknya radiasi ketika masuk ke ruang iradiasi. Sehingga kecelakaan radiasi seperti yang terjadi di San Salvador dapat dihindarkan [4]. Indikator status sumber radiasi juga harus dapat menunjukkan dengan jelas posisi sumber dan tingkat radiasi yang ada di ruang iradiasi. Kecelakaan radiasi di Soreq Israel, terjadi karena operator salah menginterpretasi 2 sinyal [5]. Salah satu sinyal menyatakan sumber radioaktif sudah dalam posisi terperisai, sinyal yang lain menyatakan tingkat radiasi di ruang iradiasi masih tinggi.

### 2. Akses ke Ruang Iradiasi

Pasal 60 menyebutkan bahwa desain akses ke sumber radiasi harus memenuhi ketentuan:

- pintu akses personil ke ruang iradiasi harus terintegrasi dengan sistem *interlock* untuk menjamin pintu tertutup dan aman sebelum dan selama proses iradiasi;
- terdapat sistem interlock pada tempat masuk dan keluar kontainer yang diiradiasi.
- setiap pintu akses personil ke ruang iradiasi harus memiliki sistem kendali cadangan yang independen untuk mendeteksi masuknya personil ke ruang iradiasi ketika zat radioaktif pada posisi tidak terperisai atau ketika pembangkit radiasi pengion beroperasi;
- terdapat sistem monitor radiasi di dalam ruang iradiasi yang terintegrasi dengan sistem interlock untuk mencegah personil masuk ke ruang iradiasi saat radiasi masih diatas ambang yang ditetapkan;
- sistem monitor radiasi dan sistem interlock harus terhubung dengan suplai daya bebas gangguan (*uninterruptible power supply*).

Persyaratan diatas merupakan intisari dari ketentuan yang ada di SSG 8 poin 8.10 sampai dengan 8.19. Akses ke ruang iradiasi merupakan fitur yang sangat penting dalam iradiator. Hampir semua kecelakaan radiasi yang terjadi seperti di San Salvador, Soreq Israel, Nesvizh disebabkan oleh pelanggaran, *bypass*, atau pengrusakan sistem akses ke ruang iradiasi [4] [5] [6].

### 3. Pintu Keluar Masuk Kontainer

Pasal 72 menyatakan bahwa pada tempat keluar huruf d harus dipasang monitor radiasi terpasang tetap. Monitor radiasi terpasang tetap harus terhubung dengan sistem interlock. Hal ini dilakukan untuk mendeteksi kontaminasi akibat kebocoran sumber radioaktif. Kejadian ini sangat kecil kemungkinannya karena semua sumber radioaktif harus memenuhi standar yang tinggi untuk meminimalkan kebocoran dan dalam SSG 8 juga menyatakan ketentuan tentang source guard yang berfungsi untuk meminimalkan kontak sumber radioaktif tangan benda-benda lain.

Sistem *interlock* harus ada pada tempat masuk dan keluar kontainer sesuai dengan Pasal 60 huruf b. Sistem interlock harus menggunakan beberapa sensor seperti sensor cahaya dan sensor gerak sesuai dengan rekomendasi SSG 8 poin 8.16.

### 4. Lorong (*labyrinth*)

Di dalam Raperka tidak secara langsung menyebutkan persyaratan tentang lorong, namun ada beberapa fitur keselamatan yang harus ada di lorong yaitu pengatur waktu tunda (*delay timer*) seperti yang tercantum pada Pasal 63 dan peralatan emergency stop seperti yang tercantum pada Pasal 64. Ketentuan ini didasarkan pada rekomendasi SSG 8 poin 8.25 sampai 8.28.

Pengatur waktu tunda harus diaktifkan sebelum pengoperasian Iradiator dan harus diletakkan pada posisi tertentu sehingga operator harus melewati seluruh area di ruang iradiasi untuk memastikan tidak ada orang terkunci di ruang iradiasi.

Peralatan emergency stop harus disediakan di dalam ruang iradiasi yang dapat diaktifkan untuk membatalkan operasi Iradiator dan diberi label yang jelas dan informasi dalam bahasa Indonesia atau bahasa yang dipahami oleh personil. Peralatan emergency stop dapat berupa a. kabel tarik (*pull cable*) atau tombol darurat.

### 5. Sistem Sirkulasi Udara dan Sistem Kebakaran.

Pasal 66 menjelaskan bahwa sistem ventilasi harus disediakan untuk menangani bahaya gas ozon. Sistem ventilasi harus dapat mengeluarkan gas ozon keluar fasilitas iradiator dan terintegrasi dengan sistem interlock untuk mencegah personil masuk ke ruang iradiasi yang memiliki konsentrasi ozon yang tinggi. Gas ozon diketahui dapat timbul dari proses iradiasi. Ketentuan ini sesuai dengan rekomendasi SSG 8 poin 8.34 sampai 8.37.

Pembangkitan panas yang timbul dari proses peluruhan sumber radioaktif dapat mengakibatkan terjadi kebakaran bahan yang diiradiasi. Pemadam kebakaran harus disediakan di ruang iradiasi. Peralatan untuk mendeteksi panas dan asap juga harus terhubung dengan sistem interlock. Ketentuan

ini juga sudah sejalan dengan rekomendasi SSG 8 poin 8.91 sampai 8.94.

#### 6. Sistem Penggerak Sumber (*source hoist system*)

Pasal 71 menjelaskan tentang sistem penggerak sumber. Indikator posisi sumber harus terhubung dengan kawat atau kabel langsung ke ruang kendali tanpa melalui sistem pemrograman komputer. Hal ini diperlukan untuk mencegah kesalahan pemrograman komputer. Salah satu penyebab kecelakaan yang terjadi Soreq Israel adalah indikator sumber radiasi yang tidak pasti [5]. Ketentuan ini terdapat dalam rekomendasi SSG 8 poin 8.63 dan 8.64.

Selain indikator tersebut diatas, perlu juga ditempatkan beberapa sensor dengan beberapa fungsi untuk mengetahui posisi sumber radioaktif. Dalam keadaan darurat, rak sumber radioaktif harus dapat kembali ke posisi terperisai. Jika hal ini tidak bekerja, maka diperlukan mekanisme untuk menurunkan sumber secara manual di bagian atas iradiator. Ketentuan ini terdapat dalam rekomendasi SSG 8 poin 8.69.

#### 7. Sistem Kondisioning Air (*water treatment system*)

Korosi merupakan salah satu yang perlu dihindari agar performa peralatan di dalam iradiator tetap terjaga. Salah satu cara untuk mencegah korosi adalah dengan menjaga konduktivitas dan kebersihan air kolam. Pasal 76 sampai dengan Pasal 79 menjelaskan ketentuan yang harus dipenuhi terkait sistem kondisioning air. Sistem kondisioning air harus dapat menjaga air tetap bersih dan memiliki tingkat konduktivitas kurang dari 1000 mikrosiemens per meter. Filter yang digunakan harus dicek secara terus menerus untuk mendeteksi adanya kontaminasi radioaktif selama proses filtrasi. Pada sistem kondisioning air harus diletakkan monitor radiasi terpasang tetap untuk mendeteksi kontaminasi yang mungkin terjadi karena kebocoran zat radioaktif. Monitor radiasi tersebut harus terhubung dengan sistem interlock sehingga ketika terjadi kontaminasi rak zat radioaktif kembali ke posisi terperisai dan sistem kondisioning air berhenti beroperasi. Ketentuan-ketentuan ini sesuai dengan rekomendasi SSG 8 poin 8.85 sampai 8.87.

#### 8. Sistem Kolam

Menurut Pasal 73 fitur yang ada dalam kolam terdiri dari integritas kolam dan sistem ketinggian air kolam. Integritas kolam harus memenuhi ketentuan:

- kedap air dan dirancang untuk menahan air dalam semua keadaan yang telah diperhitungkan;
- terbuat dari bahan yang tahan korosi;
- tidak ada penetrasi berupa pipa atau penutup lubang pada bagian dasar kolam;
- penetrasi pada bagian sisi kolam tidak boleh lebih dari 30 cm dibawah permukaan normal air kolam; dan
- memiliki penghalang fisik/ pagar pembatas yang dipasang untuk mencegah terjatuhnya personil ke dalam kolam.

Kolam harus dilengkapi dengan sistem ketinggian air yang menjaga ketinggian air untuk menjadi perisai radiasi yang memadai bagi personil yang

berada di ruang iradiasi. Alarm yang dapat dilihat dan didengar harus aktif ketika ketinggian air tidak memadai sebagai perisai radiasi atau ketinggian air 30 cm dibawah batas bawah ketinggian normal. Ketentuan ini terdapat pada rekomendasi SSG 8 poin 8.88 sampai 8.94

Daftar pemeriksaan uji komisioning yang dibuat berdasarkan Raperka BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator yang sedang disusun. Status terakhir Raperka ini adalah ditampilkan di laman Jaringan Data dan Informasi Hukum BAPETEN untuk memperoleh masukan dari para pemangku kepentingan. *Checklist* uji komisioning juga disesuaikan dengan dokumen IAEA *Specific Safety Guide 8 on Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities* (SSG 8).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan landasan teori yang sudah dijelaskan di atas, maka telah disusun daftar pemeriksaan uji komisioning yang dibagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan fungsi ruang atau fitur keselamatannya.

#### 1. Ruang Kendali (*Control room*)

Pada Tabel 1 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning di ruang kendali. Semua fitur harus dapat berfungsi dengan baik. Sesuai dengan yang sudah dipaparkan pada bagian landasan teori, beberapa kecelakaan yang pernah terjadi bermula dari indikator keselamatan yang tidak jelas, monitor radiasi yang tidak berfungsi dengan baik atau penggunaan kunci yang tidak sesuai dengan prosedur. Ruang kendali adalah ruang dimana semua proses iradiasi dimulai, jika fitur keselamatan pada ruang ini tidak dapat berjalan dengan baik saat uji komisioning, maka operasi iradiator tidak dapat dilakukan.

#### 2. Akses ke Ruang Iradiasi

Pada Tabel 2 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning terkait akses ke ruang iradiasi. Akses ke ruang iradiasi harus benar-benar dijaga dengan ketat. Akses ke ruang iradiasi harus didesain untuk menjamin personil tidak dapat masuk ke ruang iradiasi ketika zat radioaktif pada posisi terbuka atau ketika pembangkit radiasi pengion beroperasi. Secara umum disebutkan bahwa iradiator harus memiliki sistem interlock. Sistem ini dapat terdiri dari berbagai mekanisme dan sensor. Kegagalan uji komisioning pada bagian ini menyebabkan iradiator tidak dapat dioperasikan

#### 3. Pintu Keluar Masuk Kontainer

Pada Tabel 3 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning di pintu keluar masuk kontainer. Pintu keluar masuk kontainer adalah salah satu akses menuju ruang iradiasi. Pintu ini harus benar-benar dijaga agar tidak ada orang baik sengaja

maupun tidak sengaja masuk ke ruang iradiasi. Walaupun resiko kontaminasi akibat sumber bocor sangat kecil kemungkinannya, monitor radiasi harus terpasang di pintu keluar kontainer untuk mendeteksi kontaminasi. Monitor ini harus berfungsi dengan baik, pengecekan dapat dilakukan dengan menggunakan *check source*.

#### 4. Lorong (*labyrinth*)

Pada Tabel 4 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning di lorong. Pengatur waktu tunda (*delay timer*) adalah fitur yang sangat penting untuk memastikan tidak ada orang yang tertinggal di ruang iradiasi saat proses iradiasi akan dimulai. Fitur ini harus berfungsi secara baik, karena jika tidak, maka operasi iradiasi tidak dapat dilaksanakan.

Peralatan *emergency stop* juga harus disediakan yang dapat berupa kabel tarik (*pull cable*) atau tombol darurat. Kabel tarik harus ada disepanjang lorong, sehingga orang yang tertinggal di dalam ruang iradiasi dapat dengan cepat menariknya dan menghentikan proses iradiasi. Pengujian terhadap peralatan *emergency stop* harus dilakukan dengan baik, sehingga saat peralatan itu digunakan dapat berkerja dengan baik.

#### 5. Sistem Sirkulasi Udara dan Sistem Kebakaran

Pada Tabel 5 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning sistem sirkulasi udara dan sistem kebakaran. Gas ozon merupakan salah bahaya yang perlu ditangani di fasilitas iradiator. Sistem ventilasi harus dapat bekerja dengan baik agar dapat mengeluarkan gas ozon dari ruang iradiasi. Monitor radiasi juga harus dipasang pada sistem sirkulasi udara untuk mendeteksi adanya lepasan zat radioaktif, walaupun kemungkinannya sangat kecil.

Resiko kebakaran ada karena proser peluruhan sumber radioaktif membangkitkan energi panas. Sistem pemadam kebakaran harus disiapkan untuk menangani resiko ini. Kebakaran dapat dideteksi dengan penggunaan sensor asap dan sensor panas di ruang iradiasi. Sitem ini harus bekerja dengan baik, jangan sampai kebakaran yang mgkin terjadi tidak dapat dikendalikan dan menyebabkan resiko paparan radiasi yang tidak diinginkan.

#### 6. Sistem Penggerak Sumber (*source hoist system*)

Pada Tabel 6 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning sistem penggerak sumber. Pada sistem penggerak sumber harus terdapat indikator posisi sumber radioaktif yang terhubung langsung dengan kabel ke ruang kendali tanpa melewati sistem pemrograman komputer. Fitur ini diperlukan agar operator dapat mengidentifikasi secara langsung posisi sumber tanpa harus

mengandalkan sistem pemrograman komputer yang mgkin mengalami kesalahan. Fitur ini harus diuji secara baik sehingga benar-benar dapat diandalkan selama operasi iradiator. Kesalahan identifikasi posisi sumber telah menyebabkan beberapa kecelakaan yang cukup serius. Indikator posisi sumber juga dapat melalui sistem pemrograman komputer dengan menggunakan beberapa sensor yang penempatan dan fungsi yang berbeda sehingga bersifat *redundant*. Pengujian terhadap sensor-sensor ini juga harus dilakukan dengan baik.

#### 7. Sistem Kondisioning Air (*water treatment system*)

Pada Tabel 7 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning sistem kondisioning air. Sistem kondisioning air berfungsi untuk menghindari resiko korosi yang dapat menurunkan performa peralatan yang digunakan di fasilitas iradiator. Selain itu kontaminasi juga mungkin terjadi akibat kebocoran sumber, sehingga pada sistem ini juga harus dipasang monitor radiasi untuk mendeteksi adanya kontaminasi. Semua filter yang digunakan dalam sistem ini harus dipantau kontaminasinya. Sistem kondisioning air ini harus diuji dengan baik performanya agar umur pakai iradiator tidak berkurang karena resiko korosi.

#### 8. Sistem Kolam.

Pada Tabel 8 di Lampiran 1 dapat dilihat daftar pemeriksaan uji komisioning sistem kolam. Air di kolam merupakan elemen vital. Air ini berfungsi sebagai perisai saat sumber berada dia dalam kolam. Ketinggian air harus dijaga sehingga dapat memberikan penahan radiasi yang cukup bagi pekerja. Air cadangan harus disediakan untuk mengisi kolam ketika air berkurang, baik karena kebocoran kolam maupun karena penguapan. Sistem ini harus berfungsi dengan baik sehingga kegiatan operasi iradiator dapat berjalan dengan baik pula. Jika sistem ini tidak dapat bekerja maka proteksi radiasi tidak tercapai dan dapat menimbulkan bahaya.

## IV. KESIMPULAN

Daftar Pemeriksaan uji komisioning yang dibuat diharapkan mampu membantu verifikator perizinan, inspektur dan pemegang izin untuk melakukan uji komisioning.

Seluruh ketentuan keselamatan harus dipenuhi dan semua fitur harus bekerja dengan baik tanpa terkecuali. Jika terdapat fitur yang mengalami kegagalan uji komisioning maka iradiator tidak dapat dioperasikan dan mungkin dapat menimbulkan resiko kecelakaan radiasi.

Performa fitur keselamatan harus diimbangi dengan performa prosedur operasi yang baik. Walaupun fasilitas iradiator memenuhi semua ketentuan uji komisioning, jika prosedur operasinya tidak baik, maka

keselamatan radiasi tidak akan tercapai dan resiko kecelakaan radiasi masih tetap ada.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA. (2010) Specific Safety Guide 8 on Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, IAEA, Vienna.
- [2] BAPETEN. (1999) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator, BAPETEN, Jakarta.
- [3] BAPETEN. (2017) Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator. Didapat dari : [http://jdih.bapeten.go.id/index.php/site/doklist/kat\\_id/69](http://jdih.bapeten.go.id/index.php/site/doklist/kat_id/69)
- [4] IAEA. (1990) The Radiological Accident in San Salvador, IAEA, Vienna.
- [5] IAEA. (1993) The Radiological Accident in Soreq, IAEA, Vienna.
- [6] IAEA. (1996) The Radiological Accident at The Irradiation Facility in Nesvizh, IAEA, Vienna.
- [7] Republik Indonesia. (1997) Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Setneg, Jakarta.
- [8] Republik Indonesia. (2008) Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, Setneg, Jakarta.
- [9] Republik Indonesia. (2007) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Setneg, Jakarta.
- [10] IAEA. (1996) Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, IAEA, Vienna.
- [11] IAEA. (1992) Safety Series No. 107 Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities, IAEA, Vienna.
- [12] ISO. (1999) Radiation Protection – Sealed Radioactive Source – General Requirements and classification (ISO 2919:1999(E)), ISO, Geneva.

## Lampiran 1

Tabel 1. Ruang Kendali (Control Room)

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Indikator status sistem keselamatan		Harus terdapat indikator yang menunjukkan dengan jelas status keselamatan .	
2.	Tombol <i>emergency</i> penghenti operasi		Jika tombol ini ditekan maka seluruh proses iradiasi berhenti dan sumber kembali ke dalam kolam.	
3.	Kunci tunggal yang selalu terhubung dengan alat monitor radiasi <i>portable</i>		Satu kunci yang dapat membuka seluruh pintu atau mengaktifkan fitur. Harus terhubung dengan monitor radiasi <i>portable</i> yang memiliki indikator suara.	
4.	Indikator status sumber radiasi		Indikator yang dapat menunjukkan posisi rak sumber.	
5.	Monitor radiasi		Mampu menunjukkan tingkat radiasi di beberapa titik seperti di lorong ( <i>labyrinth</i> ), tempat keluar kontainer/tote, dan sistem kondisioning air.	

Tabel 2. Akses ke Ruang Iradiasi

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Sistem <i>interlock</i> pintu personil.		Harus memiliki sistem <i>interlock</i> yang terhubung dengan beberapa sensor yang memastikan pintu personil tetap tertutup saat dilakukan proses iradiasi. Jika pintu personil dibuka pada saat proses iradiasi maka proses iradiasi segera berhenti dan sumber radiasi kembali ke kolam dan alarm hidup.	
2.	Lampu tanda radiasi dan tanda peringatan		Harus ada lampu tanda radiasi di pintu personil yang menunjukkan status radiasi. Tanda peringatan harus dapat dilihat dan dipahami dengan jelas oleh personil.	

Tabel 3. Pintu keluar masuk kontainer (*Good Maze Door*)

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Monitor radiasi terpasang tetap		Dapat mendeteksi radiasi jika terjadi kontaminasi radiasi.	
2.	sensor yang memastikan tidak ada orang yang masuk ke ruang iradiasi melalui <i>Good Maze Door</i> seperti : sensor cahaya atau sensor gerak		Jika ada orang yang masuk melalui <i>Good Maze Door</i> , mengaktifkan sensor dan proses iradiasi berhenti.	
3.	Lampu tanda radiasi dan tanda peringatan		Harus ada lampu tanda radiasi di yang menunjukkan status radiasi. Tanda peringatan harus dapat dilihat dan dipahami dengan jelas oleh personil.	
4.	Alarm atau sirine		Alarm atau sirine harus aktif jika monitor radiasi mendeteksi kontaminasi dan ketika ada orang yang masuk ruang iradiasi.	

Tabel 4. Lorong (*labyrinth*)

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Tombol <i>emergency</i>		Jika ditekan akan membatalkan proses iradiasi dan mengaktifkan alarm/sirine. Harus diberi label yang jelas.	
2.	<i>Pull cable</i>		Jika ditarik akan membatalkan proses iradiasi dan mengaktifkan alarm/sirine. Harus diberi label yang jelas.	
3.	Pengatur waktu tunda ( <i>delay timer</i> )		Harus diaktifkan sebelum pengoperasian Iradiator. harus diletakkan pada posisi tertentu sehingga operator harus melewati seluruh area di ruang iradiasi untuk memastikan tidak ada orang terkunci di ruang iradiasi.	

			harus memberikan waktu yang cukup untuk meninggalkan ruang iradiasi	
3.	Monitor radiasi		Harus dapat menunjukkan tingkat radiasi. Terhubung ke sistem <i>interlock</i> .	

Tabel 5. Sistem sirkulasi udara dan sistem kebakaran

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Ozon detektor		Dapat mendeteksi ozon. Jika tingkat ozon tinggi, pintu personil tidak dapat dibuka.	
2.	Monitor radiasi		dapat mendeteksi kontaminasi radiasi udara. Jika terdapat kontaminasi, operasi iradiasi berhenti.	
3.	Detektor asap		Dapat mendeteksi asap sebagai indikasi kebakaran. Terhubung dengan sistem pemadam kebakaran.	
4.	Pemadam kebakaran		Harus disediakan di ruang iradiasi berupa penyembur air ( <i>sprinkler</i> ). Kendali pemadam kebakaran harus diletakkan di luar ruang iradiasi sehingga dapat diaktifkan oleh personil tanpa harus masuk ke dalam ruang iradiasi.	

Tabel 6. Sistem Penggerak Rak Sumber (*source hoist system*)

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Sistem indikator posisi sumber		Harus terhubung dengan kawat atau kabel langsung ke ruang kendali tanpa melalui sistem pemrograman komputer.	
2.	Sensor posisi sumber		Harus diletakkan pada posisi yang bervariasi.	
3.	Sistem kedaruratan		Dapat menggerakkan rak sumber kembali ke kolam secara manual ketika terjadi kegagalan.	
4.	Pengunci sistem penggerak		Harus dapat menahan sumber tetap berada di kolam saat dilakukan perawatan.	

Tabel 7. Sistem kondisioning air (*water treatment system*)

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Konduktivitas air		Harus dapat menjaga air tetap memiliki tingkat konduktivitas kurang dari 1000 mikrosiemens per meter. harus dimonitor terus menerus untuk mencegah korosi.	
2.	Monitor Radiasi		Harus dapat mendeteksi kontaminasi di air. Jika kontaminasi terdeteksi maka operasi radiator berhenti.	
3.	Sistem pendingin air		Dalam hal penggunaan zat radioaktif aktivitas tinggi yang dapat meningkatkan suhu air harus dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menjaga suhu air.	

Tabel. 8 Sistem Kolam

No	Fitur	Ada/ Tidak	Kriteria Keberterimaan	Sesuai/ Tidak
1.	Sistem ketinggian air		Menjaga ketinggian air untuk menjadi perisai radiasi yang memadai bagi personil yang berada di ruang iradiasi. Alarm harus aktif ketika ketinggian air tidak memadai sebagai perisai radiasi atau ketinggian air 30 cm dibawah batas bawah ketinggian normal.	
2.	Pelindung rak sumber		Rak sumber radioaktif harus dilindungi dari potensi benturan dengan benda yang diiradiasi. Rak zat radioaktif harus didesain dapat bergerak tanpa menimbulkan kerusakan zat radioaktif jika terjadi kegagalan katrol penggerak.	



## PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PADA PESAWAT TELETERAPI DI INDONESIA DAN ASPEK KESELAMATANNYA

Assef Firmando Firmansyah<sup>1</sup>, Sri Inang Sunaryati<sup>2</sup>, Nurman Rajagukguk<sup>3</sup>, Gatot Wurdianto<sup>4</sup>  
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN  
e-mail: [firmando3154@gmail.com](mailto:firmando3154@gmail.com)

### ABSTRAK

Makalah ini menguraikan perkembangan teknologi dari pesawat teleterapi yang masuk ke Indonesia sejak tahun 1927 sampai sekarang, dimulai dengan pesawat sinar-X orthovoltage sampai dengan pesawat pemercepat linier medik yang dapat memancarkan berkas foton tanpa menggunakan flattening filter dan berkas elektron dengan laju dosis tinggi. Diuraikan juga aspek keselamatan dari pesawat teleterapi tersebut serta peran laboratorium dosimetri standar sekunder dalam menjembatani ketertelusuran penentuan dosis serap air dari pesawat terapi antara rumah sakit dan laboratorium standar primer.

**Kata Kunci** : Pesawat teleterapi, aspek keselamatan, pesawat sinar-X orthovoltage, pesawat pisau gamma Leksell, pesawat tomoterapi

### ABSTRACT

*This paper presents the development of technology in the teletherapy machines used in Indonesia since 1927 until now started with the orthovoltage X-ray machine and the use of flattening filter free photon and high dose rate electron beams produced from a medical linear accelerator machine. The radiation safety aspects of the machines and the role of the secondary standard dosimetry laboratory to bridge the measurement traceability from the users to the primary standard dosimetry laboratory were also described.*

## I. PENDAHULUAN

Dibutuhkan waktu 32 tahun sejak invensi sinar-X oleh W.C Rontgen pada tahun 1895<sup>1</sup>, teknologi di bidang radioterapi masuk ke Indonesia. Penggunaan radiasi pengion untuk penatalaksanaan radioterapi ini diawali di Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangun Kusumo, Jakarta pada tahun 1927 yang pada waktu itu dikenal dengan nama Centrale Burgelijke Ziekenhuis (CBZ) dengan adanya penggunaan pesawat sinar-X Orthovoltage, dilanjutkan pada tahun 1958 dengan pesawat teleterapi Co-60, tahun 1964 dengan pesawat Cs-137 dan pada tahun 1982 dengan pesawat pemercepat linier medik<sup>2</sup>. Rentang waktu antara tahun 1927 sampai dengan tahun 2008 bisa disebut sebagai era kilovoltage dan dilanjutkan dengan era megavoltage yang pada tahun 2003 sudah menggunakan teknik 3D conformal radioterapi seiring dengan perkembangan penggunaan komputer dalam perencanaan radioterapi. Pesawat sinar-X orthovoltage, Co-60 dan pemercepat linier dapat dilihat pada Gambar 1, 2 dan 3 [dokumentasi RSCM].



**Gambar 1.** Pesawat sinar-X Orthovoltage Monogil buatan pabrik Gilardoni

Dalam perkembangannya selanjutnya beberapa pesawat teleterapi seperti sinar-X orthovoltage dan Cs-137 tidak digunakan lagi karena beberapa pertimbangan antara lain: fungsinya dapat digantikan oleh pesawat pemercepat linier medik yang dapat memancarkan berkas elektron dan foton dengan kualitas radiasi yang bervariasi mulai energi rendah sampai dengan tinggi, sedangkan untuk pesawat terapi Cs-137 penggunaannya sudah tidak direkomendasikan karena penumbranya yang terlalu besar.

Sampai dengan awal tahun 2017 terdapat 29 buah rumah sakit yang memiliki pesawat teleterapi dengan jumlah total 61 buah yang terdiri dari 38 pesawat pemercepat linier medik dan 23 pesawat

teleterapi Co-60. Dari jumlah tersebut 75 % dimiliki oleh beberapa rumah sakit di Pulau Jawa, sedangkan sisanya tersebar di beberapa pulau besar. Jumlah ini dipastikan akan meningkat terus karena penderita kanker di Indonesia jumlahnya cukup tinggi yang tersebar di beberapa pulau, sedangkan layanan yang diberikan masih jauh dari memadai dengan jumlah yang tidak lebih dari 10 % dari total penderita kanker dan layanannya masih terpusat pada beberapa rumah sakit di Pulau Jawa. Faktor lain yang turut berperan dalam peningkatan ini adalah adanya program asuransi kesehatan BPJS yang memicu rumah sakit yang sudah memiliki pesawat untuk menambah sumber radiasi terapinya, sedangkan yang belum memiliki fasilitas radioterapi berusaha untuk membangun fasilitas tersebut

Meskipun jumlah tersebut relatif banyak dibandingkan dengan beberapa tahun sebelumnya, tetapi dibandingkan dengan jumlah penduduk Indonesia yang sangat besar dengan penambahan pasien kanker yang cukup tinggi pertahunnya, kebutuhan pesawat teleterapi ini masih jauh dari yang ideal.



**Gambar 2.** Pesawat teleterapi Co-60 Picker (a) dan pesawat pemercepat linier medik Mevatron (b) yang pertama di Indonesia yang dimiliki oleh RSUP Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta.

Tulisan ini menguraikan secara ringkas perkembangan teknologi penggunaan radiasi pengion di bidang kesehatan khususnya radioterapi di Indonesia sejak tahun 1927 sampai dengan saat ini. Perkembangan ini dimulai dengan penggunaan sumber radiasi pesawat sinar-X Orthovoltage, pesawat teleterapi Co-60 dan Cs-137 dilanjutkan dengan pesawat pemercepat linier medik, pesawat pisau gamma (Gamma Knife) sampai dengan penggunaan pesawat helical tomo terapi Hi Art di beberapa rumah sakit.

Penekanan pada tulisan ini adalah pada keunggulan teknologi masing-masing pesawat dibandingkan dengan pesawat sebelumnya. Diuraikan juga aspek keselamatan radiasi khususnya pada beberapa pesawat teleterapi yang mutakhir serta tantangan yang dihadapi oleh Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN dalam melaksanakan perannya sebagai institusi yang menjembatani ketertelusuran hasil pengukuran dosis dari pesawat teleterapi tersebut antara rumah sakit dan laboratorium dosimetri standar primer.

## II. INTENSITY MODULATED RADIOTHERAPY (IMRT)

Seiring dengan perkembangan teknologi dalam pesawat pemercepat linier medik yang memungkinkan intensitas berkas foton selama penyinaran dimodifikasi dengan bantuan komputer, maka dimulailah era yang dikenal dengan teknik Intensity Modulated

Radiotherapy yang penyempurnaan teknologi IMRT ini memungkinkan waktu penyinaran dikurangi melalui dynamic arc therapy. Teknik IMRT ini dimulai di Indonesia pertama kali menggunakan pesawat pemercepat linier medik Elekta Synergy S.

## III. PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK ELEKTA SYNERGY S

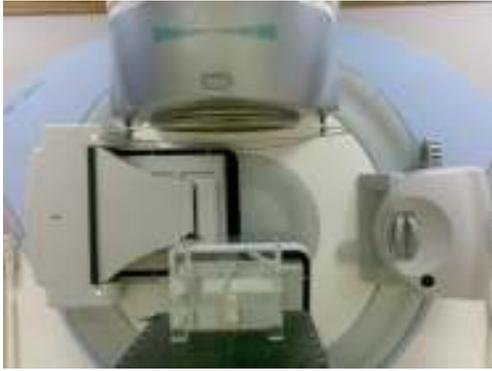
Pada tahun 2008 Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta melengkapi fasilitas radioterapinya dengan sebuah pesawat pemercepat linier medik Synergy S buatan pabrik Elekta yang dapat memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV serta berkas elektron dengan energi nominal 4, 6, 9, 12, 15 dan 18 MeV. Berbeda dengan pesawat pemercepat linier medik pada umumnya, pesawat Synergy S ini dilengkapi dengan pesawat sinar-X kilovoltage dan Electronic Portal Imaging Device (EPID). Dengan demikian pesawat ini memiliki kemampuan untuk membuat pencitraan dari tumor sesaat sebelum pasien mendapatkan penyinaran radiasi. Keunggulan lain adalah penggunaan Multileaf Collimator (MLC). Dengan Multileaf Collimator ini, maka lapangan radiasi yang terbentuk akan dapat menyesuaikan dengan bentuk tumor. Dengan perangkat yang dimilikinya maka pesawat Synergy S ini dapat digunakan untuk beberapa teknik antara lain: teknik Intensity Modulation Radiation Therapy (IMRT), Intensity Guided Radiation Therapy (IGRT), Stereotactic Radiotherapy (SRT)/Stereotactic Radiosurgery (SRS).

Teknik *Intensity Modulation Radiation Therapy* (IMRT) adalah suatu teknik untuk menyinari tumor dengan dosis tinggi tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada jaringan normal yang berada di sekitarnya. Dengan penggunaan *Multileaf Collimator* ini, lapangan radiasi penyinaran akan berubah sesuai dengan bentuk tumor dari arah penyinaran.

Teknik Intensity Guide Radiation Therapy (IGRT) atau gambar pemandu radiasi adalah teknologi moderen untuk mematikan kanker dan mengurangi paparan ke jaringan normal. IGRT menggunakan image atau gambar tubuh pasien pengidap kanker ketika treatment berlangsung untuk menentukan pengaturan pengiriman treatment atau dosis pada pasien tersebut secara akurat dan tepat. Dengan teknik IGRT ini gerakan organ setiap kali radiasi diberikan dapat dipantau. Tujuannya, untuk menghasilkan data yang akurat tentang perubahan posisi tumor

Stereotactic Radiosurgery adalah suatu bentuk radiasi eksternal yang menggunakan dosis radiasi tinggi dalam satu kali penyinaran untuk menghancurkan tumor yang terdapat dalam tubuh. Stereotactic radiosurgery ini dapat juga diberikan secara fraksi pada beberapa kali penyinaran. Penatalaksanaan ini disebut Stereotactic Radioterapi. SRS/SRT ini digunakan untuk menangani tumor dengan ukuran yang kecil dan secara teknis tidak dapat dilakukan operasi.

Pesawat Pemercepat linier medik Synergy S dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



**Gambar 3.** Pesawat pemercepat linier medik Synergy S buatan pabrik Elekta milik RSUP Nasional dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta<sup>4</sup>.

#### IV. PESAWAT PEMERCEPAT LINIER VARIAN TRILOGY

Teknik Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) membutuhkan waktu penyinaran yang cukup lama karena banyaknya arah penyinaran disamping itu juga Monitor Unit bertambah. Untuk itu Varian System mengembangkan teknik yang disebut Volumetric Modulation Arc Therapy (VMAT) melalui pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy. Dengan teknologi Rapid Arc, maka waktu penyinaran lebih singkat karena penyinaran tetap berjalan selama gantri berputar. sehingga dapat mencegah perubahan posisi pasien. Lapangan radiasi dapat dibentuk sesuai dengan organ yang diradiasi. Bisa dikatakan kalau teknik VMAT ini merupakan teknik IMRT untuk satu putaran gantri<sup>3</sup>. Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy milik Rumah Sakit MRCCC.

#### V. Pesawat Pisau Gamma Leksell (Leksell Gamma Knife)

Pada tahun 2012 Gamma Knife Center Indonesia (GKCI) Rumah Sakit Siloam Karawaci mengoperasikan sebuah pesawat Pisau Gamma Leksell model Perfexion dan ini merupakan pesawat pisau Gamma yang pertama di Indonesia, sedangkan yang kedua dioperasikan oleh Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta tahun 2017.

Pesawat Pisau Gamma Leksell ini dikembangkan oleh Prof. Leksell dari Swedia. Penggunaan pisau gamma ini khusus untuk tumor kecil yang berada di bagian kepala

dan tidak mungkin dilakukan pembedahan. Kemampuan pesawat ini mampu menyinari tumor untuk lapangan radiasi berdiameter 16 mm, 8 mm dan 4 mm.

Pasien berbaring di atas meja dengan kepala terkunci pada penyangga (Frame), setelah melalui proses awal, kemudian pasien digerakkan ke dalam unit pesawat untuk penyinaran. Pesawat ini terdiri dari sumber radiasi Co-60 berjumlah 192 buah. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini<sup>5</sup>.



**Gambar 5.** Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion milik Rumah Sakit Siloam Karawaci

#### VI. Pesawat Helical Tomoterapi

Salah satu teknologi dalam pesawat radioterapi mutakhir yang masuk ke Indonesia adalah pesawat tomoterapi Hi-Art yang dipasang di Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta pada bulan Agustus 2016 yang saat ini merupakan satu satunya di Indonesia.

Pesawat helikal tomoterapi ini merupakan kombinasi antara pesawat sinar-X CT-Scan dan Intensity Modulated Radiation Therapy yang dikembangkan oleh Professor Thomas Rockwell Mackie, PhD dan pertama kali digunakan untuk penyinaran pasien pada tahun 2002 di Universitas Wisconsin<sup>6</sup>. Sumber radiasi dari pesawat tomoterapi ini adalah pesawat pemercepat linier medik dengan berkas radiasi foton 6 MV. Perbedaannya dengan pesawat pemercepat linier medik konvensional adalah antara lain : tidak menggunakan flattening filter, jarak sumber radiasi ke permukaan tidak 100 cm, melainkan 85 cm dan lapangan radiasi yang digunakan tidak memungkinkan 10 cm x 10 cm, melainkan 5 cm x 10 cm, 5 cm x 20 cm dan seterusnya sampai dengan 5 cm x 40 cm. Pesawat ini mempunyai kemampuan untuk berputar 360° selama penyinaran. Istilah helical digunakan untuk menunjukkan bahwa gantri dan meja pasien bergerak selama penyinaran pasien berlangsung, sementara itu pesawat pemercepat linier medik konvensional yang bergerak hanya gantri sedangkan meja pasien pada posisi tetap. Dengan penggunaan pesawat helical tomoterapi ini maka radiasi yang diterima pasien adalah slice per slice (tomo) dan berbentuk spiral. Pesawat Tomoterapi Hi-Art dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



**Gambar 6.** Penulis di depan pesawat Tomoterapi Hi Art

## VII. PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK ELEKTA VERSA HD

Pada bulan Juni tahun 2017 Rumah Sakit Murni Teguh, Medan mengoperasikan pesawat pemercepat linier medik Elekta Versa HD yang merupakan pesawat pertama di Indonesia. Keunggulan pesawat ini dibandingkan dengan pesawat pemercepat linier medik konvensional adalah berkas fotonya dapat diperoleh menggunakan filter perata (flattening filter) dan juga tanpa filter perata (flattening filter free). Dengan berkas foton yang diperoleh tanpa flattening filter ini akan dihasilkan berkas foton dengan laju dosis serap air yang tiga kali lebih tinggi dari pesawat pemercepat linier medik konvensional. Dengan penggunaan pesawat ini, maka waktu penyinaran dapat dikurangi sebesar 57 %.

Untuk berkas elektron dengan energi nominal 6 dan 10 MeV, pesawat Versa HD ini dapat memancarkan berkas elektron dengan laju dosis serap air 10 kali lebih tinggi daripada pesawat konvensional. Keunggulan lain dari pesawat Elekta Versa HD ini adalah gerakan multileaf collimatornya 2 kali lebih cepat dibandingkan dengan pesawat generasi sebelumnya. Pesawat ini menggunakan 160 bilah MLC dengan ketebalan 5 mm. Sebagai perbandingan generasi Elekta sebelumnya menggunakan 80 bilah MLC dengan ketebalan 10 mm, sedangkan pada pesawat generasi terakhir dari Linac Varian yaitu TrueBeam, jumlahnya 120 bilah<sup>7</sup>.

Pesawat ini dapat digunakan untuk teknik stereotactic radioterapi (SRT), stereotactic radiosurgery (SRS) dan volumetric arc therapy (VMAT). Pesawat pemercepat linier medik versa HD dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Pesawat Pemercepat Linier Medik Elekta Versa HD milik Rumah Sakit Murni Teguh, Medan

## VIII. ASPEK KESELAMATAN DARI PESAWAT TELETERAPI

Prinsip kerja dari radioterapi adalah memberikan dosis radiasi pada target tumor semaksimal mungkin dan menghindari seminimal mungkin terpaparnya jaringan normal pada pasien. Sudah tentu disamping pasien, keselamatan pekerja radiasi dan masyarakat harus menjadi prioritas. Perkembangan teknologi dalam pesawat radioterapi yang diuraikan di atas tetap memerhatikan aspek keselamatan semua pihak.

Pada pesawat Pisau Gamma Leksell, helm (helmet) pesawat yang terbuat dari bahan Tungsten dengan ketebalan tertentu, lapangan radiasi yang relatif kecil (maksimal 16 mm), jarak penyinaran yang relatif dekat (60 cm) dan berkas radiasi yang mengarah pada satu titik di pusat helm, menyebabkan berkas radiasi tidak menghambur ke segala arah. Untuk aspek keselamatan ini Pabrik Elekta menyajikan bahwa setiap fitur dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion ini merefleksikan keselamatan dan kenyamanan pasien dan staf rumah sakit. Bahkan pabrik pesawat ini mengklaim perisai radiasinya 100 kali lebih baik daripada teknologi lain. Dengan tingkat radiasi di dalam ruang pesawat yang rendah, maka hanya diperlukan ruang berukuran normal serta dimungkinkan adanya jendela untuk mengamati keadaan di dalam ruang penyinaran.

Pada pesawat helikal tomoterapi, karena didesain eksklusif sebagai pesawat IMRT, maka perisai radiasi ekstra ditempatkan pada Head pesawat untuk melindungi pasien dari paparan radiasi yang tidak diinginkan dan untuk mengurangi kebocoran pesawat. Sebagai tambahan, untuk mengurangi berkas primer menjadi seperseratusnya, maka pada gantri dipasang perisai Pb (timbal) setebal 13 cm sebagai Beam Stopper.

Dimensi waktu sangat penting dalam penyinaran target tumor. Dengan laju dosis yang tinggi pada pesawat pemercepat linier medik Versa HD akan mempersingkat waktu penyinaran. Dengan demikian mengurangi kesalahan penyinaran yang disebabkan adanya gerakan tubuh pasien dan gerakan tumor yang disebabkan pernapasan dan lain-lain.

Pada umumnya pesawat pemercepat linier medik yang diuraikan di atas memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV, hanya satu yang dapat memancarkan berkas foton 15 MV. Beberapa referensi menguraikan perlunya diukur neutron untuk berkas foton 10 MV ke atas yang disebabkan reaksi gamma neutron ( $\gamma, n$ ) pada target, flattening filter, kolimator, wedge dan lain-lain yang berada pada Head pesawat<sup>8</sup>.

Tidaklah sederhana mengukur neutron secara akurat yang terjadi pada Head pesawat pemercepat linier medik. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal antara lain: energi neutron, waktu paruh, respon energi dan dosis detektor, ketidakpastian kalibrasi detektor yang besar, hamburan neutron yang besar di dalam ruangan yang kecil, kontribusi gamma yang terdeteksi dan lain-lain. Dengan demikian diperlukan kajian yang lebih mendalam tentang masalah ini agar pihak-pihak terkait yang berkepentingan memperoleh informasi yang akurat.

## IX. PERAN LABORATORIUM DOSIMETRI STANDAR SEKUNDER

Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN mempunyai peran yang sangat vital untuk menjembatani ketertelusuran penentuan dosis serap air dari pesawat terapi antara rumah sakit dan laboratorium standar primer. Perkembangan teknologi penggunaan radiasi pengion dalam bidang radioterapi yang begitu cepat baik secara kuantitas maupun kualitas teknologinya menuntut kesiapan laboratorium dalam memberikan layanan yang prima agar keselamatan pasien yang merupakan tujuan akhir dari penggunaan teknologi dapat terpenuhi.

Uraian di atas menunjukkan bahwa jenis radiasi, jarak penyinaran, lapangan radiasi dan pergerakan sumber radiasi terapi yang digunakan berbeda satu sama lain. Dengan demikian diperlukan detektor yang sesuai baik dengan jenis radiasinya maupun lapangan radiasi yang digunakan. Demikian juga dengan perangkat penunjangnya seperti fantom yang digunakan untuk menempatkan detektor.

Beberapa langkah yang harus diambil oleh laboratorium adalah merevitalisasi peralatannya terutama sumber radiasi kalibrasi dan peralatan dosimetri serta pendukungnya. Hal lain yang tak kalah penting adalah peningkatan kuantitas dan kualitas personil laboratorium

## X. PENUTUP

Uraian di atas menunjukkan bahwa perkembangan teknologi di bidang radioterapi yang menggunakan radiasi pengion begitu pesat. Dari sekian banyak modalitas tersebut hanya beberapa modalitas pesawat teleterapi yang belum masuk ke Indonesia seperti Cyberknife.

Diperlukan kajian yang mendalam mengenai kontribusi neutron yang terjadi pada head pesawat pemercepat linier medik untuk memberikan kepastian pada pihak-pihak yang berkepentingan

Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder harus terus meningkatkan kemampuannya untuk mengantisipasi perkembangan teknologi penggunaan radiasi pengion dalam radioterapi di Indonesia

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Underwood E. Ashworth, Wilhelm Condar Rontgen and The Early Development of Radiology, 1945
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=I1oGpen9fH0>, Radiotherapy RSCM - TomoTherapy & 3D Brachytherapy (HD)
- [3] RINA TAURISIA, MD, Rapid Arc optimization & verification, MRCCC Radiotherapy Workshop, 2012.
- [4] Foto Dokumentasi Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo
- [5] <https://www.elekta.com/>, brochure - Elekta
- [6] Amarjit and Maththew K West, Commissioning experience and quality assurance of helical tomotherapy machines, Journal of Medical Physics.

- [7] Ganesh Narayanasamy, Daniel Saenz, Wilbert Cruz, Chul S. Ha, Niko Papanikolaou and Sotirios Stathakis, Commissioning an Elekta Versa HD Linier Accelerator. 2015.
- [8] H.R. Vega Carrillo, L.H. PérezLanderos, Electroneutrons around a 12 MV LINAC



## PENILAIAN DOSIS ORANG REPRESENTATIF DARI DISPERSI ATMOSFERIK LEPASAN RADIOAKTIVITAS DI KAWASAN NUKLIR SERPONG MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CROM

**Diella Ayudhya Susanti, Moekhammad Alfiyan**

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN*

email: d.ayudhya@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Pelepasan zat radioaktif ke lingkungan selama masa pengoperasian suatu instalasi atau fasilitas dapat memberikan dampak radiologik terhadap masyarakat dan lingkungan hidup sehingga perlu diawasi secara ketat, salah satunya melalui penentuan batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan. Nilai lepasan radioaktivitas ke lingkungan harus ditentukan dengan tepat melalui kajian yang mendalam dan cermat. Penilaian dosis menjadi salah satu tahapan penting dalam penentuan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan. CROM merupakan salah satu perangkat lunak yang direkomendasikan oleh IAEA dalam menentukan terimaan dosis efektif individu bagi orang representatif akibat lepasan radioaktivitas dari suatu fasilitas atau tapak. Pada kajian ini dilakukan penilaian dosis dari lepasan radioaktivitas di Kawasan Nuklir Serpong khususnya dari dispersi atmosferik menggunakan perangkat lunak CROM. Dosis dihitung untuk orang representatif yaitu orang dewasa yang tinggal dan bekerja di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal. Suku sumber lepasan atmosferik ditentukan berdasarkan lepasan desain yang tersedia pada Laporan Analisis Keselamatan instalasi dan memiliki kontribusi dosis terbesar. Radionuklida yang digunakan sebagai suku sumber lepasan atmosferik yaitu: Kr-88 sebesar  $4,09E+06$  Bq/detik, Xe-135 sebesar  $8,37E+06$  Bq/detik, I-131 sebesar  $3,90E+04$  Bq/detik, Sr-90 sebesar  $3,00E+03$  Bq/detik, Xe-135m sebesar  $2,44E+06$  Bq/detik, Xe-133 sebesar  $2,08E+07$  Bq/detik, dan Kr-85m sebesar  $2,43E+06$  Bq/detik. Dari hasil perhitungan diperoleh total dosis efektif orang representatif sebesar  $8,54 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Jika dibandingkan dengan nilai Pembatas Dosis untuk anggota masyarakat yaitu sebesar  $0,3 \text{ mSv}/\text{tahun}$ , nilai ini masih berada jauh di bawahnya.

**Kata kunci:** penilaian dosis, atmosferik, lepasan, CROM.

### ABSTRACT

*The discharge of radioactive substances into the environment during the lifetime of an installation or facility can have a radiological impact on public and the environment so that it needs to be monitored appropriately one of them through the determination of the discharge limit of radioactivity to the environment. The discharge limit of radioactivity to the environment must be determined precisely through careful and thorough study. Dose assessment becomes one of the important stages in determining the discharge limit. CROM is one of the software recommended by the IAEA in determining the acceptability of an effective individual dose for a representative person due to radioactivity discharge from a facility or site. In this study, a dose assessment of radioactivity discharge in Serpong Nuclear Site especially from atmospheric dispersion has done using CROM software. Doses are calculated for a representative person that is an adult who live and work near the site and consume local products. The atmospheric discharge source terms are determined based on the design discharge available in the Safety Analysis Report of the installation and which has the largest dose contribution. Radionuclide used as source terms are: Kr-88 of  $4,09E + 06$  Bq/s, Xe-135 of  $8,37E + 06$  Bq/s, I-131 of  $3,90E + 04$  Bq/s, Sr-90 of  $3,00E + 03$  Bq/s, Xe-135m of  $2,44E + 06$  Bq/s, Xe-133 of  $2,08E + 07$  Bq/s, and Kr-85m of  $2,43E + 06$  Bq/s. From the calculation obtained that a total effective dose of representative person is  $8.54 \mu\text{Sv} / \text{year}$ . Compared to the Dose Constraint for member of the public of  $1 \text{ mSv} / \text{year}$ , this value is still far below it.*

**Keywords:** dose assessment, atmospheric, discharge, CROM.

### I. PENDAHULUAN

Selama masa pengoperasian instalasi nuklir dan fasilitas radiasi bidang industri, kesehatan dan penelitian, beberapa di antaranya melepaskan zat radioaktif ke lingkungan baik dalam bentuk cair maupun *airborne*.

Pelepasan zat radioaktif ke lingkungan selama masa pengoperasian instalasi atau fasilitas tentu saja akan dapat memberikan dampak radiologik terhadap masyarakat dan lingkungan hidup, sehingga perlu

diawasi secara ketat, salah satunya melalui penentuan batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan akibat pengoperasian instalasi atau fasilitas tersebut. Nilai lepasan radioaktivitas ke lingkungan harus ditentukan dengan tepat melalui kajian yang mendalam dan cermat, sehingga batas lepasan zat radioaktif yang ditetapkan tidak menimbulkan risiko radiologik bagi masyarakat dan kerusakan pada lingkungan hidup.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah menetapkan Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas

ke Lingkungan melalui Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 Tahun 2013. Pada Pasal 6 Perka BAPETEN ini dinyatakan bahwa Pemegang Izin (PI) dari fasilitas harus menetapkan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas. Penilaian dosis menjadi salah satu tahapan penting dalam penentuan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan setelah penetapan asumsi dasar berupa nilai pembatas dosis yang digunakan serta karakteristik suku sumber dan jalur paparan [1]. Dalam melakukan penilaian dosis, perlu didefinisikan kelompok kritis yang digunakan sebagai acuan dalam menilai kepatuhan terhadap kriteria batas dosis yang telah ditetapkan. Metode penentuan kelompok kritis menggunakan pendekatan *representative person* atau orang representatif berdasarkan rekomendasi *International Commission on Radiological Protection Publication 101* [2]. Individu ini merupakan perwakilan dari kelompok yang menerima paparan paling tinggi dalam suatu populasi.

CROM atau *Codigo de cRiba para evaluaciOn de iMpacto* merupakan salah satu perangkat lunak yang direkomendasikan oleh IAEA dalam menentukan terimaan dosis efektif individu bagi orang representatif akibat lepasan radioaktivitas dari suatu fasilitas atau tapak. Pemodelan yang digunakan dalam CROM mengikuti pemodelan lingkungan yang digunakan dalam IAEA Safety Report Series No.19 [3].

## II. METODE

Penilaian dosis orang representatif dari lepasan radioaktivitas ke lingkungan menggunakan perangkat lunak CROM, dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Pemahaman terhadap pengoperasian CROM, termasuk data parameter input yang diperlukan;

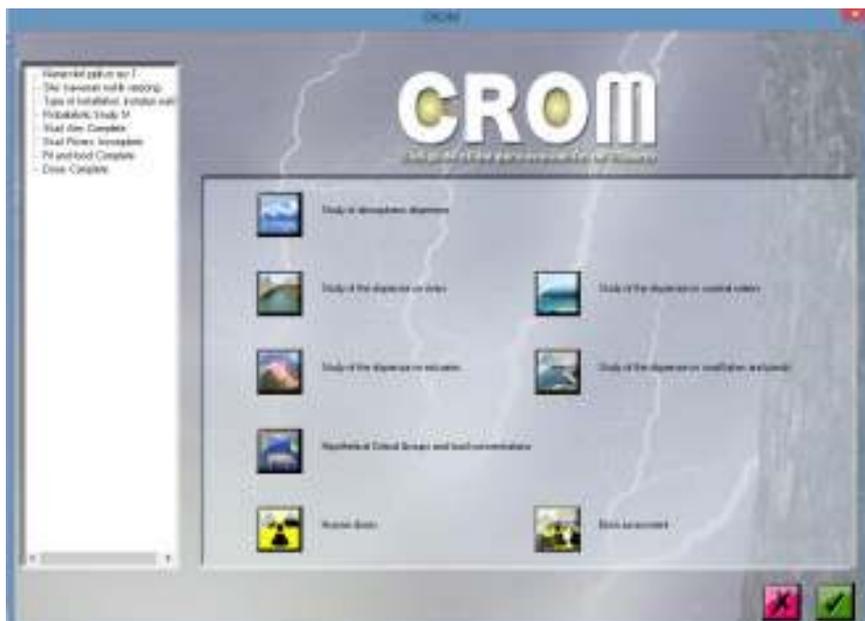
2. Diskusi dengan tim PPIKSN-BATAN untuk memperoleh data parameter input dan asumsi yang akan digunakan khususnya untuk skenario dispersi atmosferik. Data parameter dan asumsi sebagian besar menggunakan data spesifik tapak yang ada dalam dokumen PPIKSN [4] serta data dari dokumen IAEA SRS-19 [3]. Dalam hal tidak terdapat data spesifik untuk parameter tertentu, digunakan data default yang tersedia dalam CROM;
3. Proses perhitungan dosis (*dose assessment*) menggunakan CROM, dilakukan dengan menginput parameter yang diperlukan dan asumsi yang digunakan; dan
4. Analisis terhadap hasil (*output*) dari simulasi perhitungan dosis menggunakan CROM.

Pada penilaian dosis ini digunakan perangkat lunak CROM versi 8.2.4.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perangkat Lunak CROM

CROM merupakan pemodelan lingkungan generik yang dikembangkan oleh CIEMAT berkolaborasi dengan Polytechnic University of Madrid berdasarkan IAEA SRS-19 dengan beberapa variasi dari European Radiation Protection No. 72. CROM didisain untuk menghitung secara otomatis konsentrasi radionuklida pada berbagai kompartemen lingkungan dan dampaknya pada rantai makanan, serta perhitungan dosis efektif bagi manusia. CROM menggunakan model generik untuk dispersi dan dilusi, dan cukup fleksibel untuk digunakan di berbagai situasi termasuk untuk NORM. Untuk memperkirakan konsentrasi radionuklida pada media lingkungan harus ditentukan terlebih dahulu kuantitas dan jenis radionuklida yang dilepas (*source term*), jalur dan karakteristik lepasan serta titik receptor (hingga 5 titik).



Gambar 1. Menu utama CROM yang menunjukkan modul dispersi

Terdapat 8 (delapan) modul yang tersedia dalam perangkat lunak ini, meliputi:

- Dispersi atmosferik;
- Dispersi di danau kecil dan kolam;
- Dispersi di sungai;
- Dispersi di muara (*estuaries*);
- Dispersi di perairan pantai (*coastal waters*);
- Kelompok kritis hipotetik dan konsentrasi makanan;
- Dosis manusia; dan
- Penilaian biota.

Model dispersi atmosferik menggunakan pemodelan plume Gaussian yang didisain untuk menilai konsentrasi radionuklida rata-rata per tahun di udara (pemodelan ini tervalidasi untuk jarak <20 km) menggunakan perhitungan laju deposisi pada berbagai titik di wilayah yang menjadi perhatian untuk lepasan jangka panjang, dianggap selama 30 tahun emisi kontinyu dan kondisi atmosferik netral. Model ini menghitung efek bangunan di sekitar lepasan dan efek kekasaran tanah dalam profil angin.

Model air permukaan atau akuatik menghitung dispersi di sungai, danau kecil dan besar, muara, dan sepanjang pantai laut dan samudra. Seluruh pemodelan berisi sejumlah besar nilai-nilai default yang dapat digunakan jika tidak terdapat data atau informasi spesifik di sekitar tapak.

Model rantai makanan terrestrial menerima input radionuklida baik dari atmosfer maupun hidrosfer dan model ini mempertimbangkan penumpukan radionuklida di permukaan tanah selama periode 30 tahun. Proses peluruhan dan penumpukan radioaktivitas dipertimbangkan dalam perkiraan retensi radionuklida pada permukaan tumbuhan dan permukaan tanah, dan dalam penaksiran kehilangan akibat peluruhan yang dapat terjadi selama waktu antara panen dan konsumsi.

Konsentrasi radionuklida yang diperkirakan di udara, tanah, sedimen, makanan dan air (mewakili 30 tahun lepasan) dikombinasikan dengan laju intake tahunan dan faktor okupasi serta koefisien konversi dosis yang sesuai untuk memperoleh dosis efektif selama satu tahun untuk kombinasi paparan eksternal dan internal. Koefisien konversi dosis untuk paparan internal diambil dari Safety Series No. 115 sedangkan untuk paparan eksternal telah dikalkulasi berdasarkan koefisien dan persamaan yang diberikan dalam Guidance Report No. 12. Model ini memperhitungkan laju dosis gamma eksternal dari radionuklida akibat imersi awan, tanah dan sedimen yang terkontaminasi serta submersi air (untuk paparan beta dan gamma). Dosis efektif untuk paparan eksternal dan intake radionuklida dihitung untuk enam kelompok umur sesuai rekomendasi dari IAEA dan ICRP.

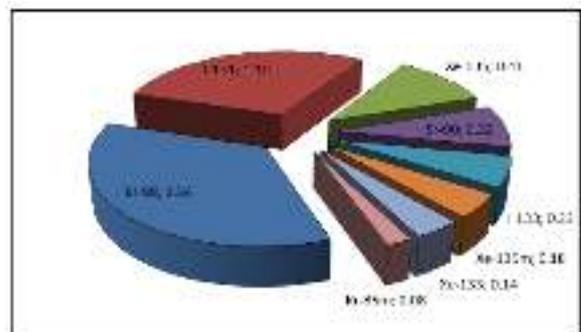
#### Parameter Input dan Asumsi

Dalam melakukan perhitungan, digunakan parameter input dan asumsi yang sedemikian rupa

identik dengan yang digunakan oleh PPIKSN-BATAN yang telah melakukan kajian dosis masyarakat di sekitar Kawasan Nuklir Serpong (KNS) menggunakan perangkat lunak lain. Pertimbangan ini diambil agar data yang digunakan merupakan data spesifik tapak. Data spesifik tapak yang diperoleh antara lain berupa data meteorologi, data karakteristik badan air, data lepasan radionuklida (*source term*), dan data parameter lingkungan spesifik tapak lainnya seperti pola kebiasaan sehari-hari, pola makan, dan rantai makanan terrestrial maupun akuatik.

Beberapa asumsi utama yang digunakan dalam perhitungan dosis menggunakan CROM adalah sebagai berikut:

1. Dalam satu kawasan dianggap hanya terdapat satu cerobong, sehingga dalam kasus ini suku sumber lepasan (*source term*) yang digunakan di KNS adalah jumlah total dari keempat cerobong milik PRSG, INUKI, PTRR, dan IRM.
2. Nuklida yang dihasilkan di setiap cerobong diperhitungkan dengan asumsi dilepaskan dalam satu titik cerobong. Hal ini dengan pertimbangan:
  - a. Lokasi cerobong dengan kontribusi dosis terbesar berdekatan (PRSG dan IPRR)
  - b. Cerobong lainnya memberikan kontribusi kecil terhadap dosis total.
3. Orang representatif yang diperhitungkan dosis radiasinya adalah orang yang tinggal dan bekerja di dekat tapak serta mengkonsumsi produk lokal, pada sektor atau arah timur laut KNS. Pertimbangan ini diambil karena kandidat ini menerima dosis tertinggi berdasarkan kajian perhitungan PPIKSN.
4. Suku sumber lepasan atmosferik ditentukan berdasarkan lepasan desain yang tersedia pada Laporan Analisis Keselamatan keempat instalasi dan merupakan radionuklida yang memberikan kontribusi dosis terbesar, yaitu: Kr-88, Xe-135, I-131, Sr-90, Xe-135m, Xe-133, Kr-85m dan I-133 (untuk radionuklida I-133 tidak digunakan dalam perhitungan karena keterbatasan CROM).



**Gambar 2.** Kontribusi dosis lepasan atmosferik ( $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ ) [4]

Selanjutnya sebelum dilakukan perhitungan dosis menggunakan CROM, terlebih dahulu ditetapkan asumsi jalur paparan yang menyebabkan dosis bagi orang representatif. Pada kajian ini, diperhitungkan jalur paparan dari dispersi atmosferik lepasan

radioaktivitas dari instalasi ke masyarakat sebagai berikut:

- Radiasi eksternal (gamma dari udara dan dari tanah);
- Injeksi (biji-bijian, sayuran, umbi-umbian, buah, daging sapi dan susu sapi);
- Inhalasi; dan
- Resuspensi.

### Proses Perhitungan Dosis

Proses perhitungan dengan CROM diawali dengan melakukan input modul dispersi atmosferik. Titik *receptor* ditentukan terlebih dahulu, yaitu: perkantoran, pemukiman dan pertanian yang berada pada arah timur laut sesuai dengan arah angin dominan (lihat Gambar 3) beserta jarak antara titik lepasan dengan *receptor* dalam satuan meter berturut-turut 250 m, 1000 m, dan 750 m. Kemudian dilakukan input data suku sumber dan parameter umum untuk dispersi atmosferik.

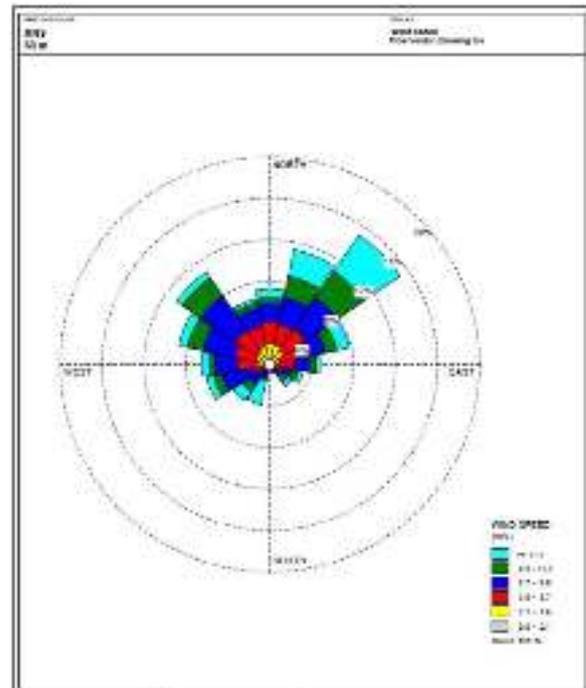
Dalam perhitungan digunakan data terkait lepasan dan meteorologi sebagai berikut:

- Tinggi cerobong = 60 m;
- Tinggi bangunan yang mempengaruhi aliran udara = 20 m;
- Kecepatan angin pada ketinggian 60 m = 7,05 m/detik;
- Fraksi dalam setahun angin bertiup ke arah timur laut untuk pemukiman dan pertanian = 0,1315;
- Fraksi dalam setahun angin bertiup ke arah timur laut untuk perkantoran = 0,0689; dan
- Faktor diffusi Gaussian pada ketinggian lepasan dan jarak *receptor* menggunakan data *default* CROM;

**Tabel 1.** Suku Sumber Lepasn Atmosferik

Nuklida	Lepasn Atmosferik (Bq/detik)
Kr-88	4.09E+06
Xe-135	8.37E+06
I-131	3.90E+04
Sr-90	3.00E+03
Xe-135m	2.44E+06
Xe-133	2.08E+07
Kr-85m	2.43E+06

Setelah memasukkan data parameter untuk modul atmosferik dilanjutkan dengan input data pada modul hipotetik orang representatif, antara lain: sifat radionuklida dalam rantai makanan. Pada tahap ini digunakan data spesifik tapak dan data dari dokumen IAEA SRS-19 antara lain data faktor transfer radionuklida pada berbagai bahan makanan dan pakan ternak.



**Gambar 3.** Cakra Angin Ketinggian 60 m di Kawasan Nuklir Serpong [4]

Tahap terakhir adalah memasukkan data perhitungan dosis, antara lain data okupasi, data laju konsumsi bahan pangan, dan laju pernafasan. CROM membedakan dosis yang diterima oleh individu berdasarkan enam kelompok umur. Untuk perhitungan ini digunakan kelompok umur diatas 17 tahun, pilihan tersebut berkaitan dengan orang representatif yang telah dipilih di awal.

**Tabel 2.** Data okupasi orang representatif

Titik <i>Receptor</i>	Faktor Okupasi	
	Di dalam ruangan	Di luar ruangan
Pemukiman	0,788	0,088
Perkantoran	0,088	0,038

**Tabel 3.** Konsumsi orang representatif

Jenis Makanan	Laju konsumsi produk lokal (kg/tahun)
Daging sapi	0,06
Susu sapi	0,16
Buah	4,26
Biji-bijian	7,33
Sayuran	10,30
Umbi	12,90

### Analisis Hasil

Hasil perhitungan menunjukkan dosis yang diterima oleh orang representatif akibat lepasan radioaktivitas dari Kawasan Nuklir Serpong dengan skenario dispersi atmosferik adalah sebesar 8,54  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Jika dibandingkan dengan nilai Pembatas Dosis untuk anggota masyarakat yaitu sebesar 0,3 mSv/tahun [5], nilai ini masih berada jauh di bawahnya.

Namun demikian diperlukan kehati-hatian jika nilai ini akan digunakan untuk menetapkan nilai batas

lepasan radioaktivitas khususnya lepasan atmosferik, hal ini dikarenakan CROM didisain untuk lepasan dari satu cerobong, sedangkan pada Kawasan Nuklir Serpong terdapat empat cerobong (PRSG, INUKI, PTRR dan IRM). Dengan menganggap nuklida-nuklida terlepas dari satu cerobong, maka tidak ada efek menyebar sehingga hasil perhitungan dosis yang diterima kemungkinan akan menjadi lebih besar.

Selain itu hasil perhitungan dosis ini hanya mempertimbangkan jalur lepasan atmosferik dan belum mempertimbangkan jalur paparan lain dari instalasi ke masyarakat yaitu jalur lepasan melalui badan air atau akuatik.

#### IV. KESIMPULAN

Perangkat lunak CROM telah dioperasikan dan dapat digunakan untuk menilai dosis orang representatif akibat lepasan radioaktivitas dari suatu tapak.

Penilaian dosis sebagai salah satu tahap penting dalam penentuan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan harus dilakukan dengan cermat dan mendalam serta diupayakan menggunakan data-data spesifik tapak agar diperoleh hasil yang mendekati kondisi yang sebenarnya.

Hasil perhitungan menunjukkan dosis yang diterima oleh orang representatif akibat lepasan atmosferik radioaktivitas dari Kawasan Nuklir Serpong adalah dosis efektif total sebesar 8,54  $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ . Nilai ini masih berada di bawah nilai Pembatas Dosis yang telah ditetapkan untuk anggota masyarakat yaitu sebesar 0,3 mSv/tahun.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P2STPFRZR BAPETEN, 2010, Laporan Hasil Kajian Pedoman Penentuan Discharge Limit.
- [2] International Commission on Radiation Protection, 2006, *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public and the Optimization of Radiological Protection – Broadening the Process*, Vol. 36, ICRP.
- [3] International Agency of Energy Atomic, 2001, *Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment*, IAEA Safety Report Series No. 19, Vienna.
- [4] BATAN, 2015, Kajian Perhitungan Nilai Batas Lepasn Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong.
- [5] BAPETEN, 2013, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [6] European Commission, 1995, *Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Release of Radionuclides to the Environment*, ISBN:92-826-9059-9.
- [7] BAPETEN, 2013, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan.



## PROSES DAUR ULANG ZAT TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN BERDASARKAN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 61 TAHUN 2013

Suhaedi Muhammad<sup>1</sup>, R.r. Djarwanti, RPS<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Gedung B, Lantai 3, Kawasan Nuklir Paswar Jumát

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Gedung 11, Kawasan Nuklir Serpong

e-mail: suhaedi.muhammad62@gmail.com

### ABSTRAK

Berdasarkan informasi dari beberapa perusahaan logging minyak maupun perusahaan logging batubara, kebutuhan zat radioaktif terbungkus Cesium-137 jumlahnya semakin tahun semakin bertambah. Selama ini pemenuhan kebutuhan zat radioaktif terbungkus Cesium-137 tersebut berasal dari produk impor dengan harga yang relatif cukup mahal. Dengan terbitnya Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif membuka peluang secara legal bagi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) untuk melakukan proses daur ulang terhadap zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan yang berasal dari penghasil limbah. Sebelum dilakukan proses daur ulang terlebih dahulu harus dilakukan kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus Cesium-137 dengan tujuan untuk menjamin keselamatan selama proses daur ulang tersebut. Setelah dilakukan kajian keselamatan selanjutnya dilakukan tahapan proses daur ulang yang meliputi : pengeluaran *outer capsule* dari pembungkus luar, pengeluaran *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cesium-137 dari dalam *outer capsule*, pengeluaran zat radioaktif Cesium-137 dari dalam *inner capsule*, pemasukkan zat radioaktif Cesium-137 ke dalam *inner capsule* yang baru, pengukuran aktivitas zat radioaktif Cesium-137 yang ada di dalam *inner capsule* yang baru, pengujian awal *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cesium-137, standarisasi aktivitas *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cesium-137, pengujian zat radioaktif terbungkus Cesium-137 sebagai bentuk khusus dan penerbitan sertifikat zat radioaktif bentuk khusus. Melalui proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cesium-137 ini akan diperoleh produk dengan harga yang jauh lebih murah dibandingkan dengan produk impor.

**Kata kunci** : zat radioaktif, terbungkus, daur ulang

### ABSTRACT

*Based on information from several logging companies for oil or coal logging company, the need for the radioactive substance cesium-137 encased the number the year is growing. So far, the fulfillment of the needs of radioactive material wrapped in Cesium-137 is derived from imported products with relatively expensive price. With the issuance of Government Regulation No. 61 Year 2013 on the Management of Radioactive Waste legally opened up opportunities for the National Nuclear Energy Agency (BATAN) to carry out the recycling of the radioactive material encased unused derived from waste producers. Before the recycling process must be subjected to the safety assessment of the packages containing radioactive material encased Cesium-137 in order to ensure safety during the recycling process. After a review of safety then performed stage of the recycling process which includes: spending outer capsule of the outer wrapper, spending inner capsule containing the radioactive substance cesium-137 from the outer capsule, spending the radioactive substance cesium-137 from the inner capsule, the inclusion of a radioactive substance Cesium -137 into the inner workings of the new capsule, measuring the activity of the radioactive substance cesium-137 that is in the inner capsule the new, initial testing of the inner capsule containing the radioactive substance cesium-137, the standardization activity of the inner capsule containing the radioactive substance Cesium-137, testing Radioactive substances encased in Cesium-137 as a special form and issuance of a special form radioactive form certificate. Through the process of recycling the radioactive substance cesium-137 encased it will obtain the product at a price much cheaper than imported products.*

**Keywords**: radioactive material, sealed, recycling

### I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, selaku badan pelaksana, BATAN wajib melakukan pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan yang diterima dari

penghasil limbah radioaktif. Selama pengumpulan dan pengelompokan tersebut BATAN dapat melakukan kajian sesuai dengan standar, pedoman, persyaratan dan/atau prosedur yang ditetapkan oleh Kepala BATAN dengan tujuan untuk menentukan apakah zat radioaktif terbungkus tersebut dapat digunakan sebagai zat

radioaktif terbungkus yang dapat digunakan kembali, zat radioaktif terbungkus yang dapat didaur ulang atau sebagai limbah radioaktif [1].

Jika dari laporan hasil kajian menentukan sebagai zat radioaktif terbungkus yang dapat didaur ulang, maka Kepala BATAN menerbitkan sertifikat yang menyatakan zat radioaktif terbungkus telah diuji atau distandardisasi ulang untuk dapat dimanfaatkan kembali. Yang dimaksud dengan daur ulang di sini adalah proses yang dilakukan pada zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan dengan tujuan untuk menghasilkan zat radioaktif terbungkus yang baru yang bisa digunakan kembali [1].

Salah satu jenis zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan yang berasal dari penghasil limbah tapi dapat dilakukan proses daur ulang adalah Cesium-137 yang dapat digunakan untuk kegiatan logging minyak dan logging batu bara.

Untuk melakukan proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 terlebih dahulu harus dilakukan kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan. Hal ini sangat penting guna menjamin keselamatan untuk pelaksanaan proses daur ulang.

Berdasarkan hasil kajian keselamatan tersebut selanjutnya dapat dilakukan proses daur ulang di laboratorium yang memiliki fasilitas yang diperlukan. Di laboratorium ini proses daur ulang Cs-137 dapat dilakukan dengan tahapan : pengeluaran *outer capsule* (kapsul luar) yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dari pembungkus luar, pengeluaran *inner capsule* (kapsul dalam) yang di dalamnya berisi zat radioaktif Cs-137 (bentuknya ada yang berupa tepung, granul atau potongan kawat kecil-kecil) dari dalam kapsul luar, pengeluaran zat radioaktif Cs-137 dari dalam kapsul dalam, pemasukan zat radioaktif Cs-137 ke dalam kapsul dalam yang baru, pengukuran aktivitas kapsul dalam yang berisi Cs-137, penutupan dan pengelasan kapsul dalam, pengujian awal kapsul dalam yang berisi Cs-137, distandardisasi zat radioaktif terbungkus Cs-137, pengujian zat radioaktif terbungkus Cs-137 sebagai zat radioaktif bentuk khusus dan penerbitan sertifikat bentuk khusus untuk produk Cs-137 hasil daur ulang.

## II. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan adalah [2,3,4,5]:

1. Kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan yang akan di daur ulang.
2. Pengeluaran *outer capsule* yang berisi dari *inner capsule* dari pembungkus luar ( kontener transport).
3. Pengeluaran *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cs-137 dari dalam *outer capsule*.
4. Pengeluaran zat radioaktif Cs-137 dari *inner capsule*.
5. *Loading* zat radioaktif Cs-137 ke dalam *inner capsule* yang baru.
6. Pengukuran aktivitas *inner capsule* yang berisi Cs-137.

7. Standarisasi aktivitas Cs-137.
8. Pengujian zat radioaktif bentuk khusus.
9. Sertifikasi zat radioaktif bentuk khusus.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Dasar Pertimbangan Ekonomis Dari Daur Ulang Cs-137

Dalam kurun waktu dua puluh tahun terakhir ini kebutuhan produk zat radioaktif terbungkus Cs-137 untuk kegiatan logging minyak maupun logging batu bara semakin meningkat sehingga dari aspek ekonomi sangat menjanjikan. Berdasarkan informasi dari para pengguna yang mengimpor produk Cs-137 untuk kegiatan logging seperti PT. Rajawali Permata Sakti, PT. Tracerco dan PT. Dialog Sistemindo, ternyata harga produk Cs-137 hasil proses daur ulang ini sekitar sepertiga dari harga jual untuk produk yang sama dari produsen luar negeri. Harga ini sangat menguntungkan bagi para pengguna produk tersebut.

Dari aspek perizinanpun pihak pengguna sangat dimudahkan bila dibandingkan dengan membeli produk yang sama melalui impor yang memang relatif lebih rumit. Dapat disimpulkan bahwa dari aspek ekonomi dan perizinan, tindakan daur ulang dapat dinilai layak.

### Kajian Keselamatan

Untuk menjamin keselamatan pelaksanaan proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137, terlebih dahulu harus dilakukan kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang akan didaur ulang. Berdasarkan Peraturan Kepala BATAN Nomor 7 Tahun 2017 tentang Penggunaan Kembali (*Reuse*) dan Daur Ulang (*Recycle*) Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan, maka kajian keselamatan ini harus disampaikan oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR)–BATAN sebagai institusi yang mengelola limbah radioaktif kepada Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) –BATAN sebagai institusi yang mempunyai kompetensi untuk mengkaji aspek keselamatan.

Kajian keselamatan yang dilakukan oleh PTKMR minimal mencakup : pemeriksaan kondisi fisik bungkusan, jenis zat radioaktif, aktivitas zat radioaktif, sifat fisika dan kimia zat radioaktif serta kemungkinan tingkat kesulitan proses daur ulang. Hasil kajian keselamatan ini secara resmi disampaikan ke PTLR sebagai pihak pemohon dalam bentuk rekomendasi. Dapat disimpulkan bahwa langkah-langkah pengkajian ini dari aspek kompetensi dan independensi cukup memadai, tidak birokratis dan diharapkan dapat menghindari konflik kepentingan.

### Pengeluaran *Outer Capsule* Dari Pembungkus Luar

Proses daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 untuk keperluan logging minyak ataupun logging batu bara diawali dengan pengeluaran *outer capsule* ( ukuran diameter 3 cm dan tinggi 10 cm) dari pembungkus luar ( kontener transport). Kegiatan ini dilakukan di dalam *Hot Cell* dengan menggunakan sistem *master slave manipulator* [3,4,5,6].

Mengingat kegiatan pengeluaran *outer capsule* ini dilakukan di dalam *Hot Cell*, meski terjadi paparan

radiasi yang cukup tinggi namun keselamatan pekerja tetap terjamin.

### **Pengeluaran *Inner Capsule* yang Berisi Zat Radioaktif Cs-137 dari dalam *Outer Capsule***

*Outer capsule* yang di dalamnya berisi *inner capsule* ( ukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 6 cm) umumnya ditutup dengan sistem ulir. Untuk mengeluarkan *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cs-137 dapat dilakukan dengan membuka tutup *outer capsule*. Kegiatan ini dilakukan di dalam *Hot Cell* dengan menggunakan alat ragum dan sistem *master slave manipulator* [3,4,5,6].

Tahapan kegiatan ini dilakukan di dalam *Hot Cell*, sehingga keselamatan pekerja tetap terjamin.

### **Pengeluaran Zat Radioaktif Cs-137 dari dalam *Inner Capsule***

Zat radioaktif Cs-137 yang ada di dalam *inner capsule* umumnya berbentuk tepung, granul dengan diameter 2 mm atau potongan kawat dengan diameter 1 mm dan tinggi 2 mm. Zat radioaktif Cs-137 dikeluarkan dari dalam *inner capsule* kemudian ditempatkan pada piring gelas kecil dengan diameter 10 cm. Untuk zat radioaktif Cs-137 yang berbentuk granul atau potongan kawat, tiap-tiap butiran granul dan potongan kawat diukur aktivitasnya dengan menggunakan *dose callibrator*. Semua rangkaian kegiatan ini dilakukan di dalam *Hot Cell*, meski terjadi paparan radiasi yang sangat tinggi namun keselamatan pekerja tetap terjamin [3,4,5,6].

### **Pemasukan Zat Radioaktif Cs-137 Ke Dalam *Inner Capsule* Yang Baru**

Untuk keperluan pewadahan zat radioaktif Cs-137 digunakan *inner capsule* yang terbuat dari bahan *stainless steel* serie 304 dengan diameter 6 mm, tinggi 8 mm dan tebal 1 mm. Banyaknya zat radioaktif Cs-137 yang akan dimasukkan ke dalam *inner capsule* sesuai dengan besarnya aktivitas yang dibutuhkan. Adapun variasi aktivitas Cs-137 yang digunakan untuk logging minyak atau batu bara umumnya terdiri dari : 25 mCi, 50 mCi, 100 mCi, 150 mCi dan 200 mCi. Zat radioaktif Cs-137 yang sudah dimasukkan ke dalam *inner capsule* selanjutnya diukur aktivitasnya dengan menggunakan *dose callibrator* [3,4,5,7,8].

Bila aktivitas yang terukur telah sesuai dengan yang dibutuhkan dengan plus minus total aktivitas sekitar 2 mCi selanjutnya kapsul ditutup dengan penutup dan dilas secara atomis dengan metode TIG.

*Inner capsule* yang telah ditutup dengan metode pengelasan selanjutnya didekontaminasi ( dibersihkan dari pengotor radioaktif ) dengan air dan alkohol serta dilakukan tes usap menggunakan kertas saring dan diukur aktivitasnya. *Inner capsule* akan dinyatakan bebas kontaminasi apabila hasil pengukuran kertas saring tersebut dibawah nilai 150 dpm (5 nCi) [2,7,8].

Tahapan ini adalah tahapan yang cukup menentukan terhadap spesifikasi sumber Cs-137 hasil daur ulang, baik terkait dengan kualitas maupun aktivitas sumber.

### **Pengujian Awal *Inner Capsule* Yang Berisi Zat Radioaktif Cs-137**

*Inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cs-137 dipindahkan ke atas meja yang dapat berputar secara manual. Kamera monitor yang mempunyai pembesar sekitar 50 kali diarahkan ke *inner capsule*. Hasil pengelasan diamati secara visual pada layar monitor [2,5,7,8].

Pemeriksaan berikutnya adalah tes kebocoran dengan menggunakan metode gelembung udara. *Inner capsule* yang telah lolos uji dipindahkan ke dalam suatu wadah gelas yang berisi larutan isopropanol, wadah dihubungkan dengan sistem vacum, kemudian divakum dengan kondisi 15 inchi Hg selama 10 detik dan diamati gelembung yang keluar dari kapsul. Tekanan vakum dinaikkan sampai 20 inchi Hg selama 10 detik dan diamati seperti pengamatan sebelumnya [2,7,8].

Jika ada kebocoran maka akan kelihatan laju pembentukan gelembung udara lebih cepat dibandingkan dengan gelembung udara normal yang ada di sekeliling kapsul [2,7,8].

Dapat disimpulkan bahwa tahapan ini memerlukan kualifikasi pekerja yang sangat kompeten karena ada tahapan pemeriksaan untuk menjamin kualitas produk daur ulang.

### **Pengukuran Aktivitas Dan Standarisasi Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137 Hasil DaUr Ulang.**

*Inner capsule* yang berisi Cs-137 yang telah lolos uji dikirim ke laboratorium terakreditasi untuk dilakukan standarisasi produk. Pengukuran aktivitas *inner capsule* yang berisi Cs-137 dilakukan dengan menggunakan *dose callibrator*. Data aktivitas ini selanjutnya diolah dengan menggunakan prinsip statistika sehingga diperoleh nilai aktivitas sesungguhnya [5,7,8].

Pemohonan standarisasi produk ke laboratorium terakreditasi ini disampaikan dengan melampirkan [5,7,8] :

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
2. Gambar teknis wadah tempat *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
3. Sertifikat bebas kontaminasi untuk bungkusan yang berisi produk Cs-137 hasil proses daur ulang.
4. Dokumen " To Whom It May Concern" untuk bungkusan yang berisi produk Cs-137 hasil proses daur ulang.
5. Persetujuan pengiriman zat radioaktif dari BAPETEN.

Dari sini akan diperoleh sertifikat hasil standarisasi yang dapat digunakan sebagai dasar pembuatan sertifikat kendali kualitas dan/atau tabel peluruhan.

Dapat disimpulkan bahwa melalui tahapan ini jaminan kualitas dan keselamatan sumber akan lebih baik karena pada tahapan ini pengujian dilakukan oleh pihak yang kompeten dan independen.

### **Pengujian Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137 Hasil DaUr Ulang**

Pengujian Cs-137 hasil proses daur ulang sebagai produk bentuk khusus dilakukan di laboratorium terakreditasi.

Permohonan pengujian produk hasil proses daur ulang ke laboratorium terakreditasi ini disampaikan dengan melampirkan [5,7,8]:

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
2. Gambar teknis wadah tempat *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
3. Sertifikat hasil standarisasi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
4. Sertifikat kendali kualitas zat radioaktif terbungkus hasil daur ulang.
5. Sertifikat bebas kontaminasi untuk bungkus yang berisi produk Cs-137 hasil proses daur ulang.
6. Dokumen “To Whom It May Concern” untuk bungkus yang berisi produk Cs-137 hasil proses daur ulang.
7. Persetujuan pengiriman zat radioaktif dari BAPETEN.

Jenis pengujian yang diberlakukan terhadap *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang sebagai bentuk khusus meliputi uji tumbuk, uji tembus, uji suhu, uji getar, uji tekanan eksternal, uji tekuk dan uji kebocoran sebagaimana ditetapkan di dalam ketentuan tentang Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian I : Persyaratan Dan Klasifikasi (SNI 18-6650.1-2002) dan Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian II : Metode Uji Kebocoran (SNI 18-6650.2-2002) yang diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional [2,7,8].

Dari hasil pengujian zat radioaktif terbungkus dan/atau bentuk khusus Cs-137 hasil daur ulang akan diperoleh sertifikat hasil uji yang dapat digunakan sebagai salah satu syarat untuk permohonan penerbitan sertifikat bentuk khusus (*Special Form*) ke BAPETEN.

#### **Penerbitan Sertifikat Bentuk Khusus ( *Special Form*) Untuk Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137 Hasil Daun Ulang Oleh BAPETEN.**

Setelah produk Cs-137 hasil daur ulang dinyatakan lolos uji sebagai zat radioaktif bentuk khusus maka harus dibuatkan sertifikat bentuk khusus (*special form*). Penerbitan sertifikat bentuk khusus (*special form*) ini dilakukan oleh BAPETEN.

Untuk mendapatkan sertifikat bentuk khusus (*special form*) dari BAPETEN ini harus dilengkapi beberapa dokumen, yaitu [7,8] :

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
2. Sertifikat hasil standarisasi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
3. Sertifikat kendali kualitas zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.
4. Dokumen laporan hasil uji zat radioaktif bentuk khusus Cs-137 hasil daur ulang.

Dapat disimpulkan bahwa Bapeten merupakan benteng terakhir lolosnya produk daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang berkualitas. Walaupun sifatnya administratif, namun Bapeten tidak

akan mengeluarkan sertifikat manakala persyaratan teknis tidak terpenuhi.

#### **IV. KESIMPULAN**

Langkah daur ulang sumber radiasi Cs-137 bekas pakai adalah tindakan yang layak untuk dilakukan karena selain tidak menyia-nyian sumber radiasi bekas pakai menjadi sekedar limbah yang akan menambah beban pengelolaannya bagi PTLR, dari aspek ekonomi juga cukup menguntungkan. Namun mengingat potensi bahaya proses daur ulang, maka harus didahului dengan suatu kajian keselamatan yang komprehensif. Dari kajian tersebut akan ditentukan kelayakannya untuk dijadikan rekomendasi menuju langkah berikutnya. Berdasarkan proses daur ulang yang baku, maka tahapan yang dapat dinilai cukup kritis dan harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian adalah tahap pengeluaran sumber dari pembungkus lama, pemindahan ke tempat transit di hot cell dan memasukkan kembali ke wadah yang baru. Produk daur ulang sumber radiasi Cs-137 terjamin aman untuk digunakan karena sudah melalui tahap standarisasi, pengujian dan sertifikasi oleh institusi yang kompeten.,

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Sekretariat Negara, “Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, Jakarta, 2013.
- [2] Medhi Physics , “ Pengujian Zat Radioaktif Terbungkus Di Instalasi Produksi Radioisotop Dan Radiofarmaka ( IPRR ) “, Medhi Physics, 1989.
- [3] Muhammad, Suhaedi, Kajian Keselamatan Untuk Proses Daun Ulang Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137 dan Co-60, Dipresentasikan Dalam Rapat Konsultasi Antara PT. Batan Teknologi (Persero) Dengan BAPETEN, Tanggal 14 Juni 2000, Serpong, 2000.
- [4] Muhammad, Suhaedi, Proses Daun Ulang (Recycle) Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137 dan Co-60 Untuk Logging Minyak Dan Batubara, Dipresentasikan Dalam Rapat Konsultasi Antara PT. Batan Teknologi (Persero) Dengan BAPETEN, Tanggal 14 Juni 2000, Serpong, 2000.
- [5] Divisi Produksi Radioisotop, Petunjuk Pelaksanaan Proses Daun Ulang Zat Radioaktif Terbungkus Cs-137, Nomor Dokumen BT141-A01-038, Serpong, 2000.
- [6] Muhammad, Suhaedi, Pengelolaan Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 61 tahun 2013, Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XII, Serpong, 30 September 2014.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, “Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian I : Persyaratan Dan Klasifikasi (SNI 18-6650.1-2002)”, Jakarta, 2002.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, “Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian II : Metode Uji Kebocoran (SNI 18-6650.2-2002)”, Jakarta, 2002.



# MAKALAH PENYAJI POSTER IBN/IT/KP





## KAJIAN PERATURAN DAN STANDAR SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA PLTN

Liliana Yetta Pandi, Mohammad Tahril Azis, Sri Budi Utami

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir

Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Email: [p.liliana@bapeten.go.id](mailto:p.liliana@bapeten.go.id) ; [m.tahrilazis@bapeten.go.id](mailto:m.tahrilazis@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Saat ini dunia teknologi adalah era teknologi digital. Teknologi digital telah diterapkan pada sistem instrumentasi dan kendali PLTN. Sistem instrumentasi dan kendali pada PLTN berperan penting dalam pengoperasian PLTN dengan selamat. Sistem instrumentasi dan kendali (SIK) PLTN mengumpulkan sinyal sensor yang terpasang di area instalasi, kinerja instalasi dan status pemantau, dan menghasilkan sinyal untuk mengendalikan instrumen untuk pengoperasian dan perlindungan instalasi. Dalam hal pengembangan desain SIK atau modifikasi SIK analog menjadi digital pada PLTN perlu memenuhi peraturan dan standar yang telah ditetapkan secara nasional dan internasional. Pada makalah ini membahas tentang peraturan dan standar SIK PLTN secara nasional dan internasional dengan menelaah beberapa literatur. Tujuan dari penulisan ini agar peraturan yang ditetapkan oleh Bapeten dan standar SNI (Standar Nasional Indonesia) diharmonisasikan dengan standar internasional. Dengan mendigitalisasi SIK, maka keselamatan operasi reaktor perlu dievaluasi karena kemungkinan adanya kesalahan pembacaan data. Oleh karena itu, penggunaan sistem digital pada SIK harus memenuhi peraturan dan standar SIK, maka Indonesia perlu menelaah kembali peraturan karena IAEA telah merevisi standar dan BSN perlu menetapkan SNI yang lain yang terkait dengan SIK PLTN, dengan memperhatikan interkoneksi antara dokumen IAEA dan IEC.

**Kata kunci:** SIK digital, PLTN, standar

### ABSTRACT

*Currently the technology world is in the digital era. Digital technology has been applied to the instrumentation and control system for nuclear reactors. Instrumentation and control systems for nuclear reactors have an important role in the operation of nuclear reactors safely. Instrumentation and control systems (ICS) of nuclear reactor collects sensor signals installed in the installation area, installation performance and monitoring status, and generates a signal for controlling instruments for operating and protection installations. In terms of design development ICS or modification analog ICS to digital ICS in nuclear reactors need to comply with the regulations and standards set by the national and the international. This paper discusses about the regulations and standards of ICS of nuclear reactors nationally and internationally by reviewing some of the literature. The purpose of this paper that the regulations issued by Bapeten and SNI (Indonesian National Standard) harmonized with international standards. By digitizing the SIK, the safety of the reactor operation needs to be evaluated because of possible error reading of the data. Therefore, the use of digital systems in SIK must comply with SIK rules and standards, then Indonesia needs to review the regulations because the IAEA has revised the standards and BSN needs to establish other SNIs related to the SIK Nuclear Power Plant, taking into account the interconnection between IAEA and IEC documents.*

**Keywords:** digital ICS, nuclear reactors, standard

## I. PENDAHULUAN

Sistem Instrumentasi dan kendali (SIK) pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) mengumpulkan sinyal sensor parameter instalasi, mengintegrasikan informasi sensor, monitor kinerja instalasi, dan menghasilkan sinyal untuk mengendalikan perangkat instalasi untuk operasi dan proteksi PLTN.

Dalam beberapa tahun terakhir, SIK digital telah dikembangkan dan diterapkan untuk pembangunan PLTN baru dan memodifikasi PLTN yang beroperasi dari SIK analog ke SIK digital. Dengan mendigitalisasi SIK, maka keselamatan operasi

reaktor perlu dievaluasi karena kemungkinan adanya kesalahan pembacaan data. Oleh karena itu, penggunaan sistem digital pada SIK harus memenuhi peraturan dan standar SIK. Masalah yang dihadapi dari penggunaan SIK digital kemungkinan adanya kesalahan pembacaan data. Oleh karena itu, penggunaan sistem digital pada SIK harus memenuhi peraturan dan standar SIK. Pada makalah ini membahas tentang peraturan dan standar SIK untuk PLTN. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk mengharmonisasikan peraturan dan standar terkait dengan SIK PLTN.

## II. METODE

Metode yang digunakan untuk penulisan makalah ini adalah studi kajian terhadap beberapa literatur yang terdapat pada daftar pustaka.

## III. POKOK BAHASAN

Sistem Instrumentasi dan kendali yang menggunakan teknologi digital memiliki banyak manfaat, dibandingkan dengan teknologi analog, misalnya dalam peningkatan fungsi kendali, pengurangan komponen yang membentuk sistem, desain sirkuit mampu menjustifikasi logika yang rumit, dan tampilan informasi grafis parameter proses seperti laju aliran dan tekanan, dan keadaan operasional pompa dan katup mudah dimengerti. Di samping itu, dalam keadaan sekarang sulit mendapatkan untuk mendapatkan jenis instrumentasi dan kendali perangkat analog. Karena manfaat dan keadaan ini, pemanfaatan sistem instrumentasi dan kendali digital tidak dapat dihindari. SIK menerapkan teknologi informasi, terkait untuk mendapatkan sinyal masukan dari sistem teknologi dan peralatan dan tim personil operasi, transfer/perpindahan, penyimpanan, pengolahan informasi yang diperoleh dan *output* /luaran dari dampak kendali pada sistem teknologi dan peralatan di PLTN [1].

Standar untuk SIK PLTN mempunyai tujuan yaitu:

- untuk meningkatkan kepercayaan publik dengan persyaratan yang lebih ketat daripada yang biasanya diterapkan untuk standar industri konvensional,
- untuk memverifikasi dan menunjukkan kualitas dan keandalan sistem keselamatan sebelum PLTN operasi,
- untuk membuat konsensus internasional di antara negara peserta, operator, dan *vendor* [2].

Standar dasar utama untuk SIK PLTN yang dibahas adalah:

- Standar dari Badan Energi Atom Internasional (*IAEA/International Atomic Energy Agency*)  
Menurut klasifikasi IAEA, sistem dibagi menjadi sistem penting bagi keselamatan dan sistem penting non-keselamatan.  
Standar IAEA yang terkait dengan SIK PLTN adalah: NS-G-1.1. *Software for Computer Based Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants* [3,5,6]; dan NS-G-1.3, *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants* [4, 5, 6]. Namun saat ini kedua standar ini telah direvisi menjadi satu standar yaitu SSG 39 tentang *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants* [7].
- International Electrotechnical Commission (IEC)*. Standar ini saling berhubungan. IAEA mengembangkan prinsip-prinsip keselamatan umum untuk SIK PLTN, dan IEC mengembangkan persyaratan teknis yang menggunakan dan menentukan prinsip-prinsip keselamatan. Menurut IEC, fungsi yang harus dilakukan oleh SIK akan diperuntukkan untuk

kategori sesuai dengan kepentingan sistem untuk keselamatan.

IEC memiliki serangkaian standar yang berlaku untuk SIK yang digunakan dalam PLTN yaitu IEC-61513 yang diterapkan pada sistem; IEC-60880 berlaku untuk perangkat lunak yang digunakan pada sistem kelas IA dan IEC-62138 berlaku untuk perangkat lunak yang digunakan pada sistem kelas IB dan IC [5].

- Peraturan dan standar di Indonesia.

Terkait dengan peraturan dan standar SIK di Indonesia, BAPETEN telah menerbitkan peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer [8] dan Standar nasional Indonesia (SNI).

Dalam makalah ini juga akan membahas interkoneksi IEC dengan IAEA.

## IV. PEMBAHASAN

Sistem komputer digital yang digunakan dalam instrumentasi dan kendali yang penting untuk keselamatan untuk melakukan fungsi perlindungan, akuisisi data, perhitungan, pemantauan kontrol dan tampilan. Jika dirancang dengan baik, SIK digital memberikan keuntungan dari peningkatan kehandalan, akurasi dan fungsionalitas dibandingkan dengan sistem analog. Sistem komputer dapat mengambil banyak bentuk, mulai dari prosesor yang besar mendukung banyak fungsi untuk jaringan terdistribusi yang sangat prosesor kecil yang ditujukan untuk aplikasi tertentu.

Sistem komputer yang digunakan memberi keuntungan dalam mendeteksi dan memantau kesalahan internal dan eksternal untuk sistem dan peralatan penting untuk keselamatan PLTN. Ketika penggunaan komputer melibatkan dua atau lebih fungsi yang berbeda kelas keselamatan, sistem komputer harus memenuhi persyaratan dari kelas keselamatan yang lebih tinggi. *Start-up* dan *reset* sistem digital (misalnya setelah kehilangan sementara tenaga listrik) harus menginisialisasi sistem ke keadaan yang telah ditetapkan yang menjamin terus operasi yang selamat. Perangkat lunak untuk sistem digital harus didokumentasikan dengan baik dan harus dikembangkan melalui proses rekayasa dikendalikan. Oleh karena itu diperlukan standar untuk SIK PLTN [9]. Pada makalah ini dibahas tentang standar berkaitan SIK yang dipublikasikan oleh IAEA, IEC dan standar yang ada di Indonesia.

- Standar IAEA

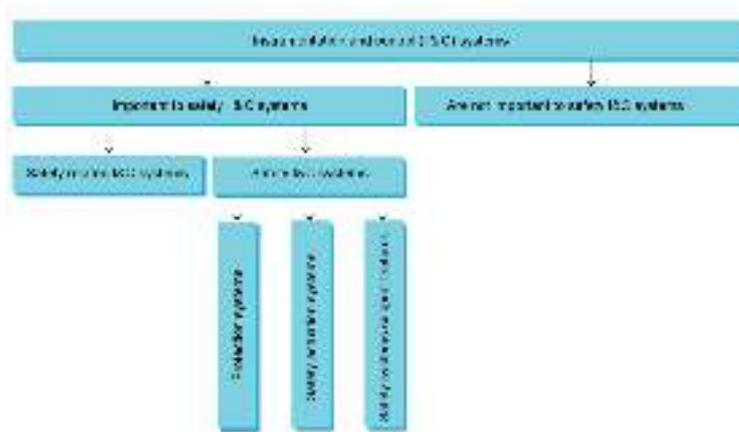
Standar IAEA terkait dengan SIK adalah:

- NS- G-1.1 tentang *Software for Computer Based Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*, standar ini diterbitkan pada tahun 2000 dan memberikan pedoman/panduan kejadian dan persiapan dokumentasi yang digunakan untuk membuktikan keselamatan dan keandalan perangkat lunak untuk sistem penting bagi keselamatan berbasis komputer pada PLTN untuk semua tahapan dari siklus umur sistem [3, 10].

- ii. NS-G-1.3 tentang *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*. mempertimbangkan berbagai SIK penting untuk keselamatan, termasuk instrumentasi dan kendali dengan penggunaan komputer yang diprogram dengan penyusunan sistem yang dipertimbangkan, dari suatu sensor ke aktuator inklusif, termasuk keseluruhan proses desain SIK, proses verifikasi, validasi, dan dokumentasi, dan integrasi faktor manusia, dan dalam penggunaan teknologi digital instrumentasi dan kendali yang penting untuk keselamatan. Harmonisasi dengan standar internasional yang tepat ditingkatkan (termasuk IEC). IAEA NS-G-1.3 disusun oleh para ahli instrumentasi dan kendali dari berbagai negara (misal negara Amerika Serikat, Jerman, Inggris dan lain-lain) dan merupakan salah satu dokumen IAEA utama pada IK penting untuk keselamatan dan diterbitkan pada tahun 2002 [2, 5].
- iii. SSG 39 tentang *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*. Standar ini merupakan revisi dan kombinasi dua standar yaitu NS-G-1.1 dan No. NS-G-1.3. Revisi standar ini mempertimbangkan perkembangan SIK. Perubahan utama berhubungan dengan pembangunan berkelanjutan aplikasi komputer dan evolusi metode yang diperlukan untuk penggunaan yang selamat, aman dan praktis. Selain itu, pertimbangan juga diambil dari perkembangan rekayasa faktor manusia dan kebutuhan untuk keamanan komputer. Standar ini juga referensi dan memperhatikan Standar Keselamatan dan Keamanan Nuklir IAEA lainnya. Standar ini dipublikasikan pada tahun 2016 [11, 7]. Standar ini memuat panduan untuk penerapan persyaratan yang berkaitan khusus untuk pengembangan SIK, penggunaan model siklus umur untuk menggambarkan proses sistem manajemen pengembangan IK (Instrumentasi dan Kendali), memberikan pedoman proses umum desain IK dan memberikan panduan tentang pelaksanaan

kegiatan pembangunan IK tertentu; memberikan panduan untuk mengidentifikasi input yang diperlukan untuk desain dan memberikan rekomendasi dasar desain SIK; memberikan panduan tentang arsitektur secara keseluruhan IK PLTN; panduan untuk skema klasifikasi keselamatan; memberikan pedoman umum yang berlaku untuk semua sistem IK penting untuk keselamatan; memberikan rekomendasi yang khusus untuk sistem tertentu seperti sistem proteksi reaktor, beberapa jenis peralatan seperti sensor, dan teknologi tertentu seperti sistem digital dan sirkuit terpadu yang dikonfigurasi dengan bahasa deskripsi perangkat keras; memberikan rekomendasi pada interface manusia-mesin, mencakup tentang penerapan prinsip-prinsip faktor manusia ke IK dan karakteristik bahwa antarmuka manusia-mesin harus ada [7].

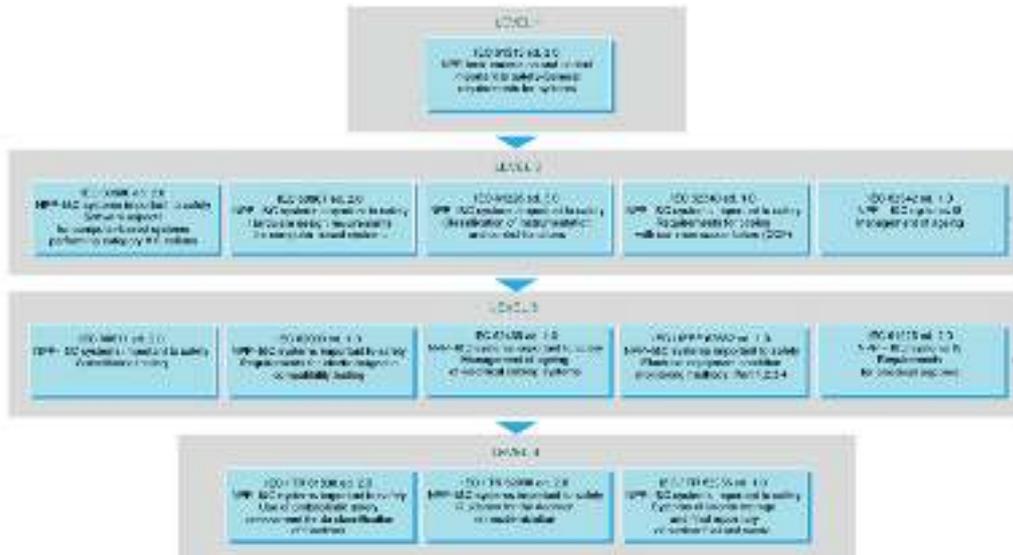
Pada SSG 39 dan NS-G-1.3. menguraikan tentang prinsip klasifikasi untuk semua fungsi, sistem, dan komponen IK untuk masuk ke dalam salah satu dari dua kategori keselamatan: yang penting untuk keselamatan atau tidak penting untuk keselamatan (lihat gambar 1). Fungsi, sistem, dan komponen penting untuk keselamatan yang malfungsi atau gagal dapat menyebabkan paparan radiasi personel pada tapak atau anggota masyarakat. Fungsi, sistem, dan komponen penting untuk keselamatan selanjutnya dikategorikan sebagai keselamatan atau terkait keselamatan. Fungsi, sistem, dan komponen keselamatan yang disediakan untuk memastikan memadamkan reaktor selamat, pemindahan panas sisa dari teras, kendali reaktivitas, kendali lepasan radioaktif yang direncanakan, pembatasan konsekuensi kejadian operasi terantisipasi atau dasar desain kecelakaan. sistem keselamatan IK menginisiasi aktuasi dan tindakan pengendalian sistem, melakukan ekskursi kedaruratan reaktor, pendinginan teras darurat, isolasi pengungkung dan lain-lain. [2]



Gambar 1. klasifikasi keselamatan SIK versi IAEA [2]

Sistem keselamatan yang diperlihatkan pada Gambar 1 terbagi 3 kelompok yaitu: [2]

1. Sistem proteksi yang menginisiasi IK untuk:
  - a. ekskursi reaktor/*reactor trip*.
  - b. pendinginan teras darurat.
  - c. pembuangan panas peluruhan.
  - d. isolasi pengungkung.
  - e. penyemprotan pengungkung
  - f. pembuangan panas pengungkung
2. Sistem aktuasi keselamatan yang mengaktuasi IK untuk:
  - a. ekskursi reaktor/*reactor trip*
  - b. pendinginan teras darurat.
  - c. pembuangan panas peluruhan.
  - d. isolasi pengungkung.
  - e. penyemprotan pengungkung
  - f. pembuangan panas pengungkung
3. Sistem keselamatan pendukung teknis yaitu:
  - a. kelayakhunian/*habitability* ruang kontrol, pemanasan dan pendinginan (*heating and cooling*) peralatan keselamatan.



**Gambar 2.** Struktur Standar IEC untuk Sistem IK penting bagi Keselamatan dan Komponennya [2]

Sistem IK terkait keselamatan yang diperlihatkan pada Gambar 1[2] adalah sistem IK yang penting untuk keselamatan yang melakukan fungsi lain yang penting untuk keselamatan yang tidak dilakukan oleh sistem keselamatan IK.

Contoh dari sistem terkait keselamatan adalah:

- sistem kendali reaktor.
- sistem kendali instalasi.
- ruang kendali IK.
- deteksi dan pemadaman kebakaran IK.
- pemantauan radiasi.
- pusat kendali darurat.
- Peralatan komunikasi.
- IK penanganan dan penyimpanan bahan bakar.
- IK yang terkait dengan pengoperasian sistem keselamatan.
- IK untuk memantau keadaan dari sistem keselamatan.
- sistem kendali.

## B. Standar Internasional

IEC menrbitkan standar yang berlaku untuk SIK yang digunakan dalam PLTN yaitu standar IEC-61513 Standar ini memuat memberikan persyaratan umum SIK dan peralatan yang digunakan untuk melakukan fungsi yang penting untuk keselamatan di PLTN, yang

mencakup sistem kendali keseluruhan unit, dan sistem kendali dan informasi masing-masing Satuan keseluruhan sistem kontrol dan informasi dan sistem kontrol individu. Struktur IEC-61513 yang ditujukan untuk sistem IK PLTN dan masing-masing komponennya yang penting untuk keselamatan diperlihatkan pada Gambar 2 [2].

Standar ini mewajibkan persyaratan fungsional dan spesifikasi desain yang jelas dan lengkap, berhubungan dengan fungsi yang harus diperiksa selama desain, produksi, kommissioning dan perawatan, dan yang harus digunakan sebagai acuan dalam melakukan modifikasi. Persyaratan sistem dalam IEC 61513 yang ditambahkan dalam persyaratan untuk desain, integrasi, validasi, perakitan, penyesuaian/pengaturan dan operasi sistem, termasuk persyaratan untuk penilaian kepatuhan pada persyaratan. Persyaratan dokumentasi yang rinci pada semua tahap sistem siklus hidup harus disebutkan.

Pada gambar 2, IEC 61513 berada pada tingkat pertama yang berisi uraian dari tingkat persyaratan umum, terlepas dari jenis reaktor dan solusi desain yang digunakan: spesifikasi seperangkat persyaratan mengandung dalam standar IEC lain di tingkat 2-nd dan 3-rd, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. IEC 61.513 mengacu langsung ke standar SC (SubCommittees ) IEC 45A untuk topik umum yang berhubungan dengan kategorisasi fungsi dan klasifikasi

sistem, kualifikasi, pemisahan sistem, pertahanan terhadap kegagalan penyebab umum, aspek perangkat lunak sistem berbasis komputer, aspek perangkat keras sistem berbasis komputer, dan desain ruang kendali. Standar direferensikan langsung di tingkat kedua ini harus dipertimbangkan bersama-sama dengan IEC 61513. [2]

Pada tingkat 3, standar SC IEC 45 A tidak secara langsung diacu oleh IEC 61513, standar tingkat 3 ini merupakan standar yang dikaitkan dengan peralatan khusus, metode teknis, atau kegiatan khusus. Pada tingkat 4 merupakan laporan teknis yang tidak mempertimbangkan dokumen normatif.

Hanya ada satu standar - IEC 61838 (IEC 2001), yang penggunaannya ditujukan untuk penilaian keselamatan probabilitas (PSA/*Probabilistic safety Assessment*) untuk klasifikasi.

Dalam struktur tingkat 4 terdapat standar yang mempertimbangkan kualifikasi peralatan: IEC 60780 (IEC 1998) dan IEC 60980 (IEC 1989), dan laporan teknis IEC 62096 TR *Nuclear power plant Instrumentation and Control – Guidance for decision on modernization* berlaku untuk semua sistem IK PLTN, terlepas pentingnya untuk keselamatan.

Dalam standar IEC 62342 pada tingkat 2, suatu perhatian yang dapat dipertimbangkan untuk manajemen penuaan peralatan IK PLTN. Standar ini mempertimbangkan persyaratan untuk manajemen dan pengendalian penuaan, untuk fenomena penuaan IK dan untuk evaluasi penuaan; tekanan penuaan, dan fungsi yang diperuntukkan internal terhadap kualifikasi, perawatan, pengujian, dan data operasi operasi dan lain - lain. Dalam standar ini juga mempertimbangan untuk pemantauan keadaan peralatan peripheral (sensor, pemancar dll) pemantauan untuk menentukan penuaan secara daring dan lokal dan penerapan tindakan terhadap penuaan.

#### C. Peraturan dan Standar SIK di Indonesia

Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer pada Reaktor Daya [8] hanya mengadaptasi dari standar IAEA NS-G-1.1. tentang *Software for Computer Based Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*, belum mengadaptasi standar IAEA NS-G-1.3 tentang *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*. Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 tahun 2012 ini perlu dilakukan telaah kembali mengingat IAEA telah menerbitkan standar SSG 39 tentang *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants* yang menggantikan NS-G-1.1. dan NS-G-1.3.

BSN (Badan standadisasi Nasional) telah menetapkan hanya SNI untuk SIK yaitu 18-7103-2005 tentang Pembangkit listrik tenaga nuklir - Sistem instrumentasi dan kendali yang penting untuk keselamatan – Klasifikasi yang mengacu pada IEC 61226: 1993 tentang *Nuclear power plants - Important instrumentation and control system for safety – Classification*, SNI 04-4518-1998 tentang Komputer digital terprogram yang penting untuk keselamatan

PLTN mengacu pada IEC 60987: 1989 tentang *Programmed digital computers important for safety for nuclear power stations*. BSN sedang menyusun rancangan SNI yaitu RSNI4 IEC 61513:2010 tentang Pembangkit listrik tenaga nuklir – Instrumentasi dan kendali untuk sistem yang penting untuk keselamatan – Persyaratan umum untuk sistem yang mengacu pada IEC 61513:2010 tentang *Nuclear power plants - Instrumentation and control for systems important to safety - General requirements for systems*. BSN belum menetapkan standar SIK yang lainnya seperti yang tertera pada struktur IEC pada Gambar 2 [12,13].

Untuk SNI, Bapeten perlu berkoordinasi dengan BSN dalam penerbitan SNI terkait dengan SIK PLTN, mengingat BATAN akan membangun RDNK.

#### D. Interkoneksi Standar IEC dan IAEA

IEC dan IAEA berinteraksi erat satu sama lain dalam konteks SIK PLTN, meskipun, fungsi mereka berbeda. Menurut perjanjian kerjasama antara IAEA dan TC 45 IEC, yang menyimpulkan pada tahun 1981, IAEA bertanggung jawab untuk pengembangan konsep umum untuk keselamatan SIK PLTN, TC-45 IEC bertanggung jawab untuk pengembangan persyaratan teknis, penggunaan dan rincian konsep keselamatan. Istilah dan definisi, digunakan dalam standar IEC, sesuai dengan standar IAEA. Interkoneksi antara dokumen IEC dan IAEA ditunjukkan pada Gambar 3. Pada bagian kiri gambar adalah dokumen IAEA, bagian kanan adalah dokumen IEC. Pada tingkat pertama adalah keselamatan umum di berbagai cabang industri, yang terdapat pada standar IEC 61508, dan tidak termasuk dalam dokumen IAEA. Pada tingkat kedua adalah isu keselamatan umum PLTN, yang terdapat dalam dokumen IAEA SSR-2/1 (tahun 2016) tentang *Safety of Nuclear Power Plants: Design*, dan standar IEC tidak termasuk. Pada tingkat ketiga adalah persyaratan IK PLTN dan termasuk IAEA NS-G-1.3, yang merupakan subyek dari IAEA NS-R-1 (tahun 2000) tentang *Safety of Nuclear Power Plants: Design* dan sesuai dengan IEC 61513 dan IEC 61226. Pada tingkat keempat adalah sistem komponen IK, untuk standar IAEA yaitu NS-G-1.1 pada perangkat lunak IK PLTN dan dokumen IEC (misalnya, IEC 60880 (IEC 2006) pada perangkat lunak atau IEC 60987 (IEC 2007, c) pada komputer. [2]. Untuk standar IAEA NS-G-1.1 (pada tingkat 4) dan NS-G-1.3 (pada tingkat 3) telah direvisi menjadi SSG-39, dengan demikian pada tingkat 3 dan 4 dicakup oleh satu dokumen IAEA yaitu SSG-39.

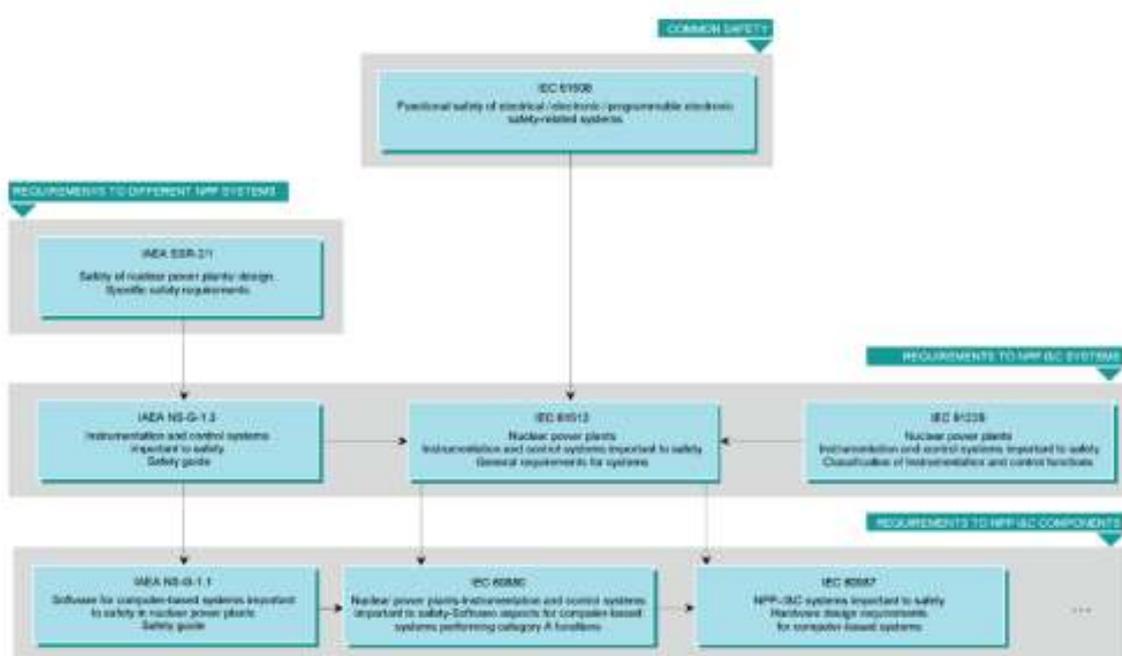
IEC berhubungan erat dengan ISO (*International Organization for Standardization*). Secara khusus, dengan mempertimbangkan pertumbuhan yang cepat komputerisasi, IEC dan ISO pada tahun 1986 membentuk komite teknis bersama (*Joint Technical Committee ISO/IEC for Information Technology - JTC1*). Komite ini terdiri dari subkomite. Standar yang diterapkan di bidang IK PLTN yang dikembangkan oleh Sub-komite 7 pada rekayasa perangkat lunak (JTC1 / SC7 *Software Engineering*).

Kebutuhan analisis dari kelompok standar disebabkan oleh penggunaan meluas dari teknologi informasi dalam SIK. [2]

## V. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat diambil kesimpulan bahwa:

- a. Sistem komputer digital yang digunakan dalam instrumentasi dan kendali yang penting untuk keselamatan untuk melakukan fungsi perlindungan, akuisisi data, perhitungan, pemantauan kontrol dan tampilan.
- b. Dengan mendigitalisasi SIK, maka keselamatan operasi reaktor perlu dievaluasi karena kemungkinan adanya kesalahan pembacaan data. Oleh karena itu, penggunaan sistem digital pada SIK harus memenuhi peraturan dan standar SIK.
- c. IAEA telah menetapkan standar SSG 39 untuk penggunaan SIK digital yang menggantikan NS-G-1.1 dan NS-G-1.3., dalam hal ini Bapeten perlu menelaah dan merevisi Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 tahun 2012.
- d. IEC telah menerbitkan IEC-61513 standar untuk SIK PLTN yang dapat diterapkan oleh setiap negara, oleh karena itu BSN perlu menetapkan standar SIK berkenaan dengan IEC-61513.
- e. Indonesia perlu menelaah kembali peraturan karena IAEA telah merevisi standar dan BSN perlu menetapkan SNI yang lain yang terkait dengan SIK PLTN, dengan memperhatikan interkoneksi antara dokumen IAEA dan IEC.



Gambar 5. Interkoneksi dokumen IEC dan IAEA [2]

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yastrebenetsky, M dan Rozen, Y. (2014), *Chapter 1 General provisions, , book of Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems for Safety and Security*, Michael Yastrebenetsky dan Vyacheslav Kharchenko, IGI Global book series Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT), ISSN: 2326-9162; eISSN: 2326-9170, DOI: 10.4018/978-1-4666-5133-3.ch002, p.1-30USA.
- [2] Yastrebenetsky, M. dan Gromov, G., (2014) , *Chapter 2 International Standard Bases and Safety Classification*, book of *Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems for Safety and Security*, Michael Yastrebenetsky And Vyacheslav Kharchenko, IGI Global book series Advances in Environmental Engineering and Green Technologies (AEEGT), ISSN: 2326-9162; eISSN: 2326-9170 , DOI: 10.4018/978-1-4666-5133-3.ch002 p.31-60 USA.
- [3] IAEA (2000), *Software for Computer Based Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*, NS-G-1.1., Wina, Austria.
- [4] IAEA, (2002), NS-G-1.3, *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*, Wina, Austria.
- [5] Suresh Babu, R.M., Mahapatra, U. dan Srivastava, G.P. (2010), *I&C Security for Nuclear Power Plants: A Study*, ISSUE NO. 315 BARC N NEWSLETTER, p.54-59.
- [6] National Nuclear Regulator, *Design And Implementation Of Digital Instrumentation And Control For Nuclear Installations*, Position Paper, PP-0017, Afrika Selatan, <http://www.nnr.co.za/wp-content/uploads/2015/02/Regulatory%20Documents/Position%20papers/PP-0017%20DI&C%20%28Approved%29.pdf>, diunduh tanggal 17 Maret 2017.
- [7] IAEA (2016), *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*, SSG 39, Wina, Austria.
- [8] BAPETEN (2012), Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2012 tentang Desain Sistem yang Penting untuk Keselamatan Berbasis Komputer, Jakarta.
- [9] JNES (2007), *Digital Instrumentation and Control Systems for Safety System and Main Control Room Design in Japan Nuclear Power Station* , p. 13-15, Jepang.
- [10] <http://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/6019/Software-for-Computer-Based-Systems-Important-to-Safety-in-Nuclear-Power-Plants>.
- [11] <http://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/10838/Design-of-Instrumentation-and-Control-Systems-for-Nuclear-Power-Plants>, diunduh tanggal 7 Maret 2017
- [12] BATAN (2010), Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor: 146/Ka/Vii/2010 tentang Pedoman Prioritas Program Standardisasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
- [13] BSN, Daftar Standar asing yang digunakan sebagai acuan normatif pada proses perumusan

SNI,[http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni\\_main/sniacu/nonsni/1/](http://sisni.bsn.go.id/index.php?/sni_main/sniacu/nonsni/1/), diunduh tanggal 15 maret 2017.



## PERANAN *CLEARINGHOUSE* DALAM PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN

**Catur Febriyanto**

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

e-mail: [c.febriyanto@bapeten.go.id](mailto:c.febriyanto@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Dalam pemanfaatan ketenaganukliran, aspek keselamatan adalah tujuan utama untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dari paparan radiasi yang berlebihan. Pihak pengguna tenaga nuklir, dalam hal ini pemegang izin, tentunya selalu berusaha memperkecil risiko paparan berlebihan melalui upaya-upaya yang memadai. Salah satu cara dalam memperkecil risiko tersebut adalah adanya umpan balik pengalaman operasi (OEF) di suatu instalasi. Informasi pengalaman tersebut dapat digunakan oleh badan pengawas sebagai dasar untuk meningkatkan pengawasan keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir. Oleh karena itu, diperlukan suatu dukungan yang efektif dan efisien dalam penggunaan OEF. Dalam hal ini tentunya pemerintah harus menyediakan suatu mekanisme berupa *clearinghouse* yang beranggotakan badan pengawas, institusi pemerintah lain maupun pemegang izin. Disamping digunakan sebagai sarana komunikasi antar anggota, *clearinghouse* juga dapat memberikan informasi yang dapat diakses tidak hanya oleh anggota, namun juga oleh publik. Informasi ini tentunya harus memenuhi ketentuan dalam perundang-undangan mengenai keterbukaan informasi publik yang berlaku. Keterlibatan badan pengawas di *clearinghouse* tidak hanya di bidang nuklir, namun juga di bidang non-nuklir yang mendukung pengawasan ketenaganukliran. Makalah ini akan menguraikan peranan *clearinghouse*, baik internasional maupun nasional, bagi badan pengawas dalam peningkatan pengawasan tenaga nuklir maupun dalam pengambilan kebijakan.

**Kata kunci:** *clearinghouse*, keselamatan, badan pengawas, OEF.

### ABSTRACT

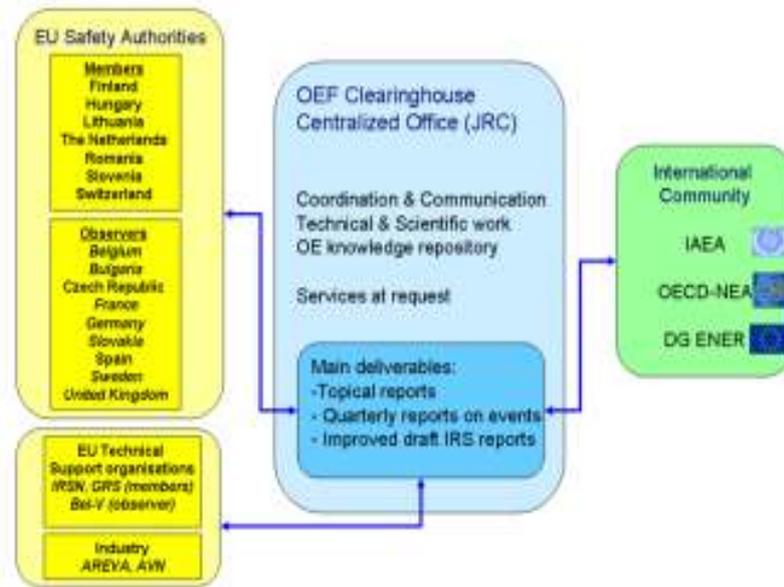
*In the use of nuclear energy, the safety aspect is the main objective to protect workers, public and the environment from an excessive radiation exposure. Licensees should minimize the risk of excessive radiation exposure by appropriate measures. One measure to minimize such risks is by taking operating experience feedback (OEF) from other installations. Therefore, the information can be used by the regulatory body as a basis for enhancement the policies in nuclear safety. Therefore, an effective and efficient support is required in the use of an OEF. Consequently, the government should provide a clearinghouse mechanism consisting of regulatory body, other government institutions and licensees. A means of communication, the clearinghouse can also provide information that can be accessed not only by members, but also by the public. This information should comply with regulation on the public information openness. The involvement of the regulatory body in the clearinghouse is not only in nuclear field, but also in non-nuclear fields that support nuclear energy regulatory. This paper will address the clearinghouse, both international and national, for regulatory body in enhancing nuclear energy regulatory activities and in policy-making.*

**Keywords:** *clearinghouse, safety, regulatory body, OEF*

## I. PENDAHULUAN

OEF merupakan salah satu cara dalam meningkatkan keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir. Banyak negara-negara sudah memanfaatkan keuntungan dari penerapan OEF. Hal ini tidak terlepas dari *clearinghouse* pengalaman operasi (OE) USNRC yang menunjukkan bahwa *clearinghouse* OE terpusat dapat memberikan keuntungan karena mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan umpan balik *lessons-learned*, sehingga banyak negara-negara yang terlibat di dalam *clearinghouse*, baik secara nasional maupun internasional.

*Clearinghouse* secara definisi kamus adalah sebuah badan pusat yang berfungsi mengumpulkan, mengklasifikasikan, dan mendistribusikan khususnya informasi; secara umum: sebuah kanal informal untuk distribusi informasi atau bantuan [1]. Sedangkan menurut pengertian secara khusus, *clearinghouse* adalah suatu mekanisme dimana suatu institusi atau negara yang kurang memiliki sumber daya yang mencukupi dapat meminta bantuan dan keahlian dari suatu institusi atau negara lain yang berpengalaman, yang dikenal dengan strategi "*neighbors helping neighbor*" [2].



Gambar 1. Skema organisasi *clearinghouse* UE [4].

Sebagai instansi teknis, BAPETEN, sejauh ini masih memiliki keterbatasan sumber daya, baik sumber daya manusia maupun sumber daya keuangan. Dengan mekanisme *clearinghouse* ini, diharapkan BAPETEN dapat meminimalkan keterbatasan tersebut dengan meminta bantuan dan keahlian dari suatu institusi atau negara lain yang lebih berpengalaman dan yang memiliki jaringan peralatan yang lebih luas karena keterbatasan tugas pokok dan fungsi (tupoksi) BAPETEN. Dengan demikian, BAPETEN dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya tersebut sebaik mungkin, dengan saling mendukung tupoksi dari instansi lainnya. Dengan mekanisme ini diharapkan koordinasi dan kerja sama antar institusi lainnya dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

Dalam suatu kawasan antar negara juga dapat menetapkan *clearinghouse* yang digunakan sebagai wadah untuk tukar menukar informasi maupun bantuan antar negara yang membutuhkan yang dapat melibatkan badan pengawas, organisasi pendukung teknis dan pihak pengguna tenaga nuklir di tiap negara. Meskipun sejauh ini BAPETEN telah terlibat dengan mekanisme *clearinghouse*, baik secara internasional maupun nasional. Namun masih perlu ditingkatkan guna meningkatkan pengawasan tenaga nuklir maupun dalam mengambil kebijakan.

Dalam makalah ini akan dijelaskan keterlibatan BAPETEN di dalam mekanisme *clearinghouse* dan hal apa saja yang perlu ditingkatkan, sehingga BAPETEN dapat meningkatkan pengawasan ketenaganukliran dan dapat dijadikan dasar sebagai pengambilan kebijakan, yang melibatkan masyarakat publik yang sejauh ini belum memadai dan kerja sama dengan instansi lain perlu ditingkatkan. Tentunya mekanisme *clearinghouse* tersebut harus sejalan dengan program prioritas yang sudah ditetapkan oleh BAPETEN selama beberapa tahun ke depan.

## II. LANDASAN TEORI

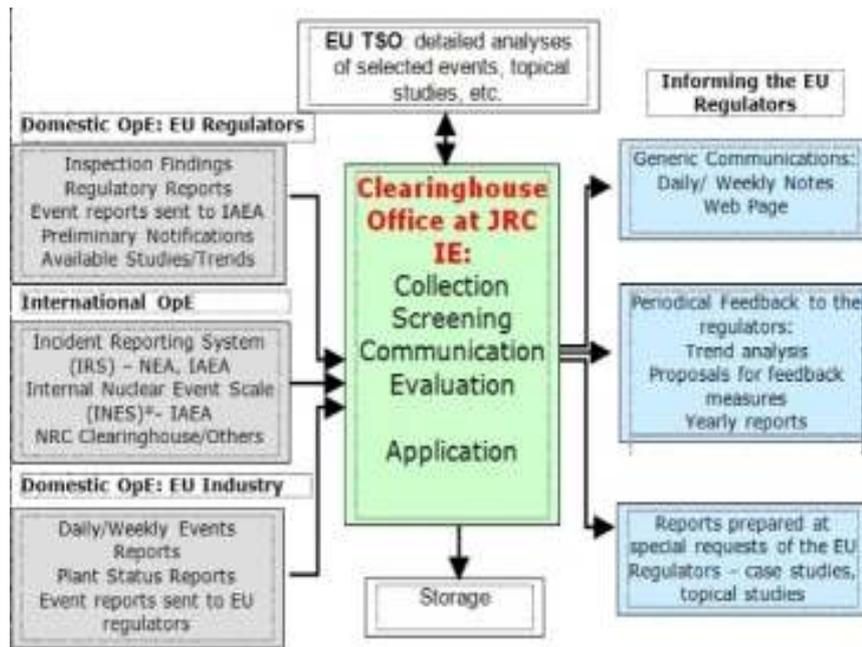
Dalam makalah ini akan diuraikan mengenai arti pentingnya *clearinghouse* dalam pengawasan ketenaganukliran melalui studi komparasi dengan *clearinghouse* dalam bidang ketenaganukliran di suatu negara dan kawasan, maupun di luar bidang ketenaganukliran yang telah ditetapkan oleh instansi pemerintah lainnya. Adapun uraian tersebut adalah sebagai berikut:

### a. *Clearinghouse* di Uni Eropa

Mekanisme ini terbentuk setelah adanya partisipasi dari beberapa negara di konferensi tentang “*Improving Nuclear Safety through Operating Experience Feedback*” yang dilaksanakan di Jerman tahun 2006 [3]. Sebagai hasilnya, inisiasi regional yang dibentuk pada tahun 2008 adalah dukungan otoritas pengawas keselamatan nuklir UE, namun juga organisasi pendukung teknis UE, organisasi internasional dan komunitas nuklir yang lebih luas, untuk meningkatkan keselamatan nuklir melalui peningkatan *lessons-learned* yang didapat dari pengalaman operasi PLTN.

Untuk melaksanakan mekanisme ini dibentuklah Pusat Riset Bersama (*Joint Research Center - JRC*) yang memegang peranan penting dalam menetapkan dan menjalankan *clearinghouse*. Pusat ini terdiri atas Badan Pengawas dari negara-negara UE yang telah mengoperasikan PLTN dan Swedia. Pusat tersebut juga termasuk organisasi pendukung teknis UE dan organisasi internasional. Skema organisasi *clearinghouse* UE dipresentasikan di Gambar 1.

Sedangkan tujuan dibentuknya *clearinghouse* ini adalah sebagai berikut [5]:



Gambar 2. Jalur informasi dan interaksi antar berbagai pihak.

- memperkuat kerja sama antara otoritas pengawas keselamatan nuklir UE, organisasi pendukung teknis dan komunitas OEF internasional untuk mengumpulkan, mengevaluasi dan membagi informasi operasi PLTN dan menerapkan pembelajaran secara konsisten di seluruh negara anggota.
- menetapkan praktik terbaik Eropa untuk pengkajian operasi PLTN.
- mengoordinasikan kegiatan OEF dan memelihara komunikasi yang efektif antar ahli dari otoritas pengawas keselamatan nuklir UE yang terlibat dalam analisis OEF dan organisasi pendukung teknisnya.
- memperkuat sumber daya di Eropa dalam pengalaman operasi.
- mendukung penelitian dan kebijakan UE jangka panjang terhadap OEF PLTN.

JRC juga mengelola sistem jaringan dan basis data yang digunakan sebagai media pertukaran informasi. Informasi ini tentunya tidak semuanya dibuka untuk publik, tergantung dari tingkatan kerahasiaan dan keterbatasan akses informasi. Jalur informasi dan interaksi yang mungkin di antara pihak yang berkepentingan dijelaskan pada Gambar 2 [6].

#### b. *Clearinghouse* di Asia[7]

Sedangkan di Asia mekanisme ini terbentuk pada tahun 2002 dengan nama Asian Nuclear Safety Network (ANSN). ANSN merupakan organisasi yang digunakan untuk mengumpulkan, menganalisis dan membagi informasi keselamatan nuklir, pengetahuan yang baru dan yang ada, dan pengalaman praktis antar negara. Dengan terbentuknya ANSN diharapkan dapat meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir, dan menjamin dan menjaga tingkat keselamatan instalasi nuklir regional. Hal tersebut dijelaskan pada Gambar 3.

ANSN juga memiliki sistem jaringan terpusat dengan dukungan pusat nasional yang termasuk negara anggota ANSN dan negara pendukung. Jaringan ini terhubung dan dikelola oleh IAEA, sementara pusat nasional bertanggung jawab terhadap konten dan manajemen lokal untuk menjaga kualitas situsnya. ANSN saat ini berkembang menjadi forum untuk strategi keselamatan yang lebih luas antar negara di regional.



Gambar 3. Tujuan ANSN.

#### c. *Clearinghouse* di Jepang [8]

Sejauh ini *clearinghouse* di Jepang yang dibentuk setelah kejadian Fukushima masih terbatas dengan pengarsipan digital dokumen-dokumen publik. Tujuan dibentuknya organisasi ini adalah agar publik dapat mengetahui apakah badan administrasi sudah menerapkan kebijakan yang sesuai sejak kejadian Fukushima.

Dokumen-dokumen ini diperoleh dari kantor pemerintah pusat dan otoritas tingkat lokal melalui keterbukaan informasi publik dan dari situs jaringan di tiap badan administrasi. Dokumen-dokumen tersebut

juga termasuk ringkasan telekonferensi yang melibatkan pemerintahan, Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) dan kawasan Fukushima No. 1, yang diprakasai oleh Kantor Kabinet, maupun terkait dengan dekontamiasi dan limbah radioaktif yang dimiliki oleh Kementerian Lingkungan. Di samping itu juga, dokumen-dokumen terkait dengan pemantauan kesehatan dan ringkasan konferensi pers bersama antara pemerintah dan TEPCO juga tersedia.

Dengan komprehensifnya dokumen-dokumen tersebut diharapkan publik dapat mengetahui proses pengambilan kebijakan, sehingga dapat mendorong badan administrasi untuk lebih baik dalam pengambilan kebijakan.

#### d. *Clearinghouse* Badan POM

Badan POM sebagai instansi yang mengawasi obat dan makanan di Indonesia telah mengembangkan *clearinghouse* guna mendukung pencapaian sasaran strategisnya. *Clearinghouse* ini merupakan bagian dari strategi dalam pengembangan pengawasan obat dan makanan berbasis risiko [9]. Pengembangan *clearinghouse* ini diharapkan dari pusat hingga ke daerah guna mempermudah akses dan memberikan informasi bagi pelaku usaha untuk pemenuhan persyaratan keamanan, mutu dan manfaat dari pangan, kosmetik, jamu dan obat tradisional.

Guna mempermudah akses dan memberikan informasi tersebut kepada pelaku usaha pangan, Badan POM membuat *subsiste* terkait *clearinghouse*. *Subsiste* ini merupakan sebuah bentuk intermediasi Badan POM terutama untuk inovasi, upaya kolaborasi, *joint operation* keamanan pangan diantara lintas sektor (pemerintah), industri pangan, akademisi, masyarakat, dan pemerhati keamanan pangan [10].

#### e. *Clearinghouse* BAKOSURTANAL

*Clearinghouse* ini dibentuk untuk mengatasi permasalahan-permasalahan mendasar yang berkaitan dengan survei dan pemetaan di Indonesia. Salah satu permasalahan tersebut di atas adalah belum tersedianya suatu sistem yang dapat memberikan informasi tentang ketersediaan data spasial, yang dapat diakses dengan mudah oleh para pengguna data.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut pemerintah melalui BAKOSURTANAL membentuk *clearinghouse* data spasial, sehingga keberadaan data spasial tersebut yang merupakan salah satu aset pemerintah yang cukup besar nilainya, dapat dimanfaatkan secara luas oleh masyarakat pengguna data spasial [11]. Melalui suatu sistem *clearinghouse*, akses data dan informasi data spasial dapat diaplikasikan dan dapat dilakukan dengan lebih mudah, cepat dan efektif.

Tujuan dasar *clearinghouse* ini adalah menyediakan akses terhadap data spasial digital melalui metadata. *Clearinghouse* berfungsi sebagai layanan katalog rinci untuk berhubungan dengan data spasial dan gambar-gambar *browse*. *Clearinghouse* ini memungkinkan badan-badan, konsorsium atau komunitas geografi tertentu untuk bergabung bersama dan mempromosikan data spasial digital mereka yang tersedia, sehingga duplikasi pekerjaan dalam

pengumpulan data spasial digital yang mahal dapat diminimalkan dan yang terpadu dapat diperoleh [11].

Pada masa pemerintahan Presiden Susilo Bambang Yudhoyono, dukungan terhadap *clearinghouse* ini berupa “*One Nation, One Gateway, One Map Policy*”, sehingga diharapkan data geospasial ini dapat digunakan oleh semua institusi pemerintah dan komunitas untuk meningkatkan kualitas perumusan kebijakan di segala aspek pengembangan nasional [12].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Clearinghouse* memiliki peranan yang sangat penting dalam suatu instansi. Karena dengan demikian informasi-informasi yang sudah dikumpulkan, diklasifikasikan dan didistribusikan dapat dijadikan suatu dasar dalam meningkatkan kualitas perumusan kebijakan di segala aspek pengembangan nasional. BAPETEN sebagai badan pengawas tenaga nuklir tentunya sangat membutuhkan mekanisme *clearinghouse* terkait dengan pengawasan ketenaganukliran. Hal ini tentunya, harus sejalan dengan tiga program prioritas yang telah ditetapkan oleh BAPETEN saat ini.

Saat ini BAPETEN secara internasional telah terlibat mekanisme *clearinghouse* di dalam wilayah regional yang mana informasi-informasi dari pengalaman negara anggota lainnya dapat dijadikan dasar dalam meningkatkan pengawasan ketenaganukliran.

Sedangkan secara nasional, BAPETEN telah membuat suatu sistem yang disebut Si-INTAN (Sistem Informasi daTA dosis pasien) yang merupakan implementasi dari program prioritas 1 terkait penguatan jaminan perlindungan keselamatan pasien radiologi. Sistem ini merupakan sistem aplikasi basis data berbasis jaringan sebagai salah satu upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi untuk pasien yang menjalani prosedur radiologi diagnostik dan intervensional. Dengan demikian, sistem ini dapat digunakan dalam pembuatan sistem manajemen dosis pasien, penetapan dan implementasi *Diagnostic Reference Level* (DRL) secara mandiri atau lokal. Sedangkan secara nasional, sistem ini dapat digunakan sebagai basis data untuk pemantauan dosis, pembuatan profil paparan medis, dan penetapan DRL tingkat nasional. Jaringan ini dipromosikan dan dikendalikan oleh BAPETEN, dan selalu berusaha menjalin komunikasi dan kerja sama dengan berbagai pihak terkait, baik institusi lain maupun komunitas keahlian.

Salah satu implementasi dari program prioritas 2 terkait dukungan infrastruktur keamanan dan kesiapsiagaan nuklir nasional, BAPETEN juga melakukan koordinasi dan kerja sama melalui kemitraan strategis dengan Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dalam mengintegrasikan sistem pemantauan radioaktifitas lingkungan secara online melalui *Radiological Data Monitoring System* (RDMS) yang menjangkau seluruh wilayah RI dengan sistem BMKG. Karena BMKG sesuai tugas pokok dan fungsinya telah mempunyai sistem nasional jaringan infrastruktur pemantauan meteorologi, klimatologi dan kegempan yang handal dan tersebar di seluruh wilayah pelosok NKRI. Melalui kerjasama ini diharapkan antara

BAPETEN dan BMKG dapat saling berbagi data dan informasi radioaktivitas lingkungan, dan dapat membangun, mengembangkan dan mengoptimalkan sistem nasional pemantauan dan pengawasan radioaktivitas lingkungan di wilayah NKRI secara terpadu dan berdaya guna. Data dan informasi radioaktivitas lingkungan juga dapat diakses dan dimanfaatkan secara *online* oleh semua pemangku kepentingan. Tidak kalah pentingnya adalah membangun *real time data online* radioaktivitas lingkungan yang representatif dan mampu berfungsi sebagai *Early Warning System* (EWS) yang handal dalam kerangka pengawasan dan kesiapsiagaan nuklir nasional.

Tidak menutup kemungkinan BAPETEN, sebagai badan pengawas, akan terlibat lebih banyak lagi dengan mekanisme *clearinghouse* di masa yang akan datang. Karena BAPETEN memiliki keterbatasan sumber daya dimana keterbatasan tersebut dapat diminimalkan melalui mekanisme ini. Dan tidak menutup kemungkinan pula keterlibatan masyarakat publik dalam mekanisme ini, sehingga dapat mendorong BAPETEN untuk lebih baik dalam pengambilan kebijakan di kemudian hari. Keterlibatan masyarakat publik ini sesuai dengan program prioritas BAPETEN dimana komunikasi publik sejauh ini perlu ditingkatkan guna meningkatkan kepercayaan masyarakat akan sistem pengawasan ketenaganukliran. Namun yang perlu diperhatikan dari akses informasi adalah informasi tersebut tidak bertentangan dengan perundang-undangan mengenai keterbukaan informasi publik yang berlaku.

Dalam melibatkan masyarakat publik dapat dilakukan seperti pada saat pembuatan peraturan, sehingga publik dapat mengetahui sejauh mana substansi peraturan tersebut mengatur ketenaganukliran. Disamping itu pula, dapat digunakan sebagai media bahwa pemanfaatan ketenaganukliran selalu diawasi dengan baik dan benar. Selain itu juga, perlu ditingkatkan kerja sama dengan instansi lain terkait dengan pengawasan ketenaganukliran melalui mekanisme *clearinghouse*. Dengan adanya rencana BATAN membangun Reaktor Daya Non-Komersial (RDNK) di dekat Sungai Cisadane, dimana pengawasannya merupakan tanggung jawab dari Ditjen SDA – KemenPUPR, untuk memastikan bahwa RDNK dapat dioperasikan dengan aman dan selamat, maka BAPETEN perlu menjalin kerja sama dengan KemenPUPR untuk memperoleh data-data daerah aliran sungai Cisadane, terlebih lagi apabila di sekitar tapak dibangun struktur bangunan pengendali air dimana pengawasannya baik saat konstruksi maupun saat operasi berada di bawah KemenPUPR. Dengan demikian pengawasan ketenaganukliran dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

#### IV. KESIMPULAN

*Clearinghouse* merupakan mekanisme pengumpulan, pengklasifikasian, dan pendistribusian informasi yang dapat melibatkan badan pengawas, institusi lainnya dan pemegang izin. Sejauh ini, BAPETEN telah secara aktif terlibat di mekanisme *clearinghouse* baik internasional maupun nasional. Selain itu, BAPETEN tidak hanya terlibat di

*clearinghouse* yang telah ditetapkan oleh instansi pemerintah lainnya yang mendukung pengawasan ketenaganukliran, namun juga BAPETEN telah menetapkan *clearinghouse* di bidang pengawasan ketenaganukliran yang melibatkan instansi lain dan komunitas keahlian.

Hal ini tentunya sejalan dengan program prioritas yang sudah disusun oleh BAPETEN. Dengan terlibatnya BAPETEN dalam berbagai *clearinghouse* diharapkan dapat meningkatkan pengawasan keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir. Mekanisme ini diharapkan juga dapat melibatkan masyarakat publik di kemudian hari dengan memperhatikan bahwa informasi-informasi yang dapat diakses tidak bertentangan dengan perundang-undangan mengenai keterbukaan informasi publik yang berlaku. Disamping itu pula dengan kerja sama dengan instansi lainnya dapat mendorong BAPETEN untuk lebih baik dalam pengambilan kebijakan di kemudian hari dan dalam pengawasan ketenaganukliran yang efektif dan efisien.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Merriam-Webster (2017)
- [2] Kassenova, T., (2012). *A Regional Approach to WMD Nonproliferation in the Asia-Pasific*, Carnegie Endowment for International Peace
- [3] NEA – OECD(2006). *Improving Nuclear Safety through Operating Experience Feedback*, International Conference. Cologne, German
- [4] Mühleisen, A., (2011). *EU Clearinghouse for NPP OEF*. International Conference Nuclear Energy for New Europe, (hal. 201.1 - 201.7). Bovec, Slovenia
- [5] A. Ballesteros, M. Peinador, & M. Heitsch., (2015). *EU Clearinghouse Activities on Operating Experience Feedback*. BgNS TRANSACTIONS Volume 20 Number 2 (hal. 93 - 95). Bulgarian Nuclear Society
- [6] V. Rangelova, & M. Bieth. *Toward Establishment of European Clearinghouse on Operational Experience Feedback*. IAEA-CN-142/18
- [7] ANSN. (2008). *Overview of ANSN*
- [8] Hirano, K. (2015). *NPO Launches Digital Archives on Fukushima Nuclear Disaster*. Artikel *Japantimes*, 31<sup>st</sup> July 2015
- [9] Direktorat Bina Produksi dan Distribusi Kefarmasian. (2014). Presentasi: *Rapat Konsultasi Teknis Pengawasan Obat dan Makanan*. Makassar
- [10] Badan POM. (2017). *Clearinghouse BPOM RI*
- [11] Kelompok Kerja dan Tim Teknis – BAKOSURTANAL. (2003). *Pedoman Pembangunan Clearinghouse Data Spasial*. Cibinong.
- [12] Karsidi, A. Presentasi: *Update on Development of Nationwide Geospatial Data Management*.



## LEPASAN RADIASI DARI PENGOPERASIAN REAKTOR SERBA GUNA GA SIWABESSY KE LINGKUNGAN

Liliana Yetta Pandi<sup>1</sup>, Veronica Tuka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir

<sup>2</sup>Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Email: [t.veronika@bapeten.go.id](mailto:t.veronika@bapeten.go.id)

### Abstrak

Pengoperasian reaktor serba guna GA Siwabessy (RSG-GAS) dapat melepaskan radiasi ke lingkungan. Oleh karena itu organisasi pengoperasi harus merencanakan pengelolaan dan memantau lepasan radiasi ke lingkungan. Hal ini sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, organisasi pengoperasi diwajibkan untuk melakukan pengelolaan dan pemantauan lingkungan sekitar reaktor terutama akibat paparan radiologi yang dihasilkan dari pengoperasian RSG GAS dan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2012 tentang Jenis Rencana Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup karena secara umum, kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan pengembangan dan penggunaan teknologi nuklir selalu memiliki potensi dampak dan risiko radiasi. Organisasi pengoperasi RSG-GAS telah melakukan pemantauan radiasi ke lingkungan dan menuangkannya dalam laporan operasi. Makalah ini membahas tentang review laporan operasi RSG-GAS sejak tahun 2012 sampai tahun 2016 karena RSG-GAS telah berusia 30 tahun, kemungkinan adanya kinerja SSK (struktur, Sistem dan komponen) yang telah menurun sehingga menimbulkan lepasan radiasi yang melebihi batas. Dari review laporan operasi tersebut diperoleh bahwa lepasan radiasi dari pengoperasian RSG-GAS masih di bawah batas yang telah ditetapkan, dan organisasi pengoperasi RSG-GAS melakukan pemantauan lepasan radiasi berdasarkan radionuklida yang dilepas sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan.

**Kata kunci:** Lepas radiasi, lingkungan, reaktor

### Abstract

*The operation of the GA Siwabessy multipurpose reactor (RSG-GAS) can release radiation to the environment. Therefore the operating organization should plan for the management and monitoring of the release of radiation to the environment. This is in accordance with Government Regulation no. 2 Year 2014 on the Licensing of Nuclear Installation and the Utilization of Nuclear Material, the operating organization shall perform environmental management and monitoring around the reactor mainly due to radiological exposure resulting from the operation of RSG GAS and the Regulation of the State Minister of the Environment No. 05 Year 2012 on Types of Business and / or Activity Plans Required to Have an Environmental Impact Analysis because in general, activities related to the development and utilization of nuclear technology always have potential impacts and risks of radiation. The RSG-GAS operating organization has carried out radiation monitoring to the environment and put it into operation reports. This paper discusses the RSG-GAS operation report review from 2012 to 2016 because RSG-GAS is 30 years old, possibly the performance of SSCs (structures, systems and components) have decreased resulting in radiation release exceeding the limit. From the review of the operation report it was found that the radiation release from the operation of RSG-GAS was still below the established limit, and the operating organization of RSG-GAS should monitor the release of radiation based on the radionuclides discharge according to the BAPETEN Chairmain Regulation No. 7 Year 2013 on Limit Value of Environmental Radioactivity.*

**Keywords:** Radiation release, environment, reactor

## I. PENDAHULUAN

Sesuai dengan UU No. 10 tahun 1997 [1] tentang ketenaganukliran bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir yang dilaksanakan harus memperhatikan aspek keselamatan untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Dalam pengoperasian reaktor nuklir kemungkinan dapat terjadi kejadian yang tidak direncanakan, termasuk kesalahan operasi, kerusakan ataupun kegagalan fungsi alat yang menyebabkan lepasan radiasi atau kondisi paparan radiasi yang melampaui batas keselamatan.

Oleh karena itu dalam pengoperasian reaktor diharuskan melakukan pemantauan radiasi terhadap lingkungan.

Reaktor Serba Guna GA Siwabessy terletak pada pemukiman masyarakat di Serpong – Tangerang Selatan. Sejak tahun 1987 reaktor serba guna GA Siwabessy (selanjutnya disebut RSG-GAS) telah beroperasi. Pengoperasian reaktor nuklir, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [2], organisasi pengoperasi diwajibkan untuk

melakukan pengelolaan dan pemantauan lingkungan sekitar reaktor terutama akibat paparan radiologi yang dihasilkan dari pengoperasian RSG GAS. Masalah penulisan makalah ini untuk mengetahui apakah organisasi pengoperasi melakukan pemantauan lepasan radiasi ke lingkungan. Tujuan dari makalah ini untuk mereview lepasan radiasi ke lingkungan sekitar RSG GAS sejak tahun 2012-2016. Dari *review* laporan operasi tersebut dapat diketahui apakah organisasi pengoperasi RSG GAS telah memenuhi ketentuan yang diatur dalam peraturan perundang-undangan.

## II. METODE

Metode penulisan makalah ini dilakukan dengan mereview laporan operasi RSG GAS dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2016 yang dilakukan organisasi pengoperasi RSG GAS dan hasil dari laporan tersebut apakah telah memenuhi peraturan perundangan yang telah ditetapkan.

## III. POKOK BAHASAN

Fasilitas RSG-GAS dibangun sejak tahun 1983, setelah dicapai kritis pertama pada bulan Juli 1987, kemudian diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia pada tanggal 20 Agustus 1987, pada bulan Maret 1992 dicapai operasi reaktor pada daya nominal 30 MW.

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy - Batan terletak di kawasan Puspipetek, di area yang dialokasikan untuk penelitian dan pengembangan industri nuklir. Kawasan Puspipetek adalah kawasan milik negara yang merupakan kawasan untuk penelitian dari berbagai lembaga-lembaga non Departemen seperti LIPI, BPPT, dan Sarpedal. Kawasan Puspipetek yang memiliki luas 3,5 km<sup>2</sup> berada di desa Setu, kecamatan Setu, kabupaten Tangerang, propinsi Banten. Lokasi RSG-GAS ini terletak pada 6° 21' 40" lintang Selatan, 106° 39' 57" bujur Timur. Kawasan Puspipetek berada sekitar 27 km Barat Daya kota metropolitan Jakarta dan jarak tapak ke kawasan laut, yaitu laut Jawa sekitar 36 km. Jalan negara yang menghubungkan Jakarta - Merak lewat Tangerang terletak pada 21 km arah utara tapak dan jalan propinsi yang menghubungkan Jakarta dengan kawasan Selatan lewat Parung terletak pada 10 km arah Selatan tapak. Lokasi RSG-GAS, seperti terlihat pada Gambar 1. [3] Sesuai dengan Penjelasan Pasal 9 huruf a Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir bahwa organisasi pengoperasi harus menyusun dan menerapkan rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan [2], selain itu juga sesuai dengan Pasal 2 ayat 1 Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2012 tentang Jenis Rencana Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL). Permeneg LH No. 05 Tahun 2012 menyatakan bahwa setiap Usaha dan/atau Kegiatan yang berdampak penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki Amdal menyatakan bahwa setiap usaha dan/atau kegiatan yang berdampak penting terhadap lingkungan hidup wajib memiliki Amdal (Analisis Mengenai

dampak Lingkungan) karena secara umum, kegiatan-kegiatan yang berkaitan dengan pengembangan dan penggunaan teknologi nuklir selalu memiliki potensi dampak dan risiko radiasi [4]. Karena pengoperasian reaktor nuklir mengakibatkan adanya lepasan/paparan radiasi/radiologi ke lingkungan maka organisasi pengoperasi harus menyusun dokumen tentang rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan serta menerapkannya. Dokumen tentang rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan merupakan salah satu dokumen AMDAL. Pemantauan lingkungan harus dilakukan organisasi pengoperasi RSG-GAS karena terkait dengan kelangsungan hidup semua makhluk, oleh karena itu lepasan radiasi tidak boleh melebihi baku tingkat radioaktivitas atau batas lepasan radiasi yang ditetapkan pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [5]. Nilai batas radioaktivitas lingkungan yang merupakan batas kadar radionuklida yang diperbolehkan terdapat di lingkungan.[6] yang harus dipatuhi oleh organisasi pengoperasi seperti yang diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 7 tahun 2013.

Organisasi pengoperasi RSG - GAS telah melakukan pemantauan lingkungan dan dituangkan dalam laporan operasi.

Laporan operasi yang disusun organisasi pengoperasi diserahkan kepada BAPETEN, dan BAPETEN melakukan *review* terhadap laporan operasi tersebut. Pada makalah ini dilakukan *review* laporan operasi yang terkait dengan proteksi radiasi dan lepasan radioaktif dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2016.

Pemantauan lepasan radioaktif yang dilakukan oleh organisasi pengoperasi sebagai pemantau keselamatan terhadap lingkungan, dan menjaga agar pelepasan erluen radiologis di sekitar reaktor tidak melebihi nilai batas yang ditetapkan, lepasan radioaktif yang dipantau adalah sebagai berikut: [6]

1. Aktivitas gas mulia yang dilepaskan ke atmosfer (Bq/l).  
Batas lepasan gas mulia ke atmosfer (Bq/l)
2. Aktivitas yodium yang dilepaskan ke atmosfer (Bq/l).  
Batas lepasan yodium (Bq/l).
3. Aerosol (partikel Sr, Y, Cs, dan lain-lain) (Bq/l)  
Batas lepasan aerosol (Bq/l).

## IV. PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari laporan operasi RSG-GAS sejak tahun 2012 -2016 dapat dilihat pada tabel 1 Lepasn Radioaktivitas di bawah ini. Data yang diambil adalah data 5 tahun operasi terakhir karena usia reaktor yang telah 30 tahun yang memungkinkan adanya struktur, sistem dan komponen (SSK) yang telah tua dan mempunyai kinerja yang telah menurun yang akan mengakibatkan adanya lepasan radiaktif dan paparan radiasi yang berlebihan.



**Gambar 1** Lokasi RSG-GAS [3]

Dari data tabel 1 di atas tidak menunjukkan adanya lepasan radiasi ke lingkungan yang melebihi batas. Batas lepasan diperlihatkan pada Tabel 2. Dalam hal ini organisasi pengoperasi telah melakukan pemantauan radiasi dengan baik. Namun untuk pemantauan lepasan lingkungan RSG-GAS masih belum menerapkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan karena pemantauan lepasan radiasi masih berupa *gross radioactivity* belum memantau per radionuklida yang dilepas dari pengoperasian reaktor seperti Cs, Sr, I dan lain-lain yang dapat dilepas ke lingkungan.

## V. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat di ambil kesimpulan bahwa :

- lepasan radiasi masih di bawah batas yang ditetapkan walaupun pengoperasian RSG-GAS yang telah berusia 30 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa organisasi pengoperasi selalu memperhatikan keselamatan terhadap lingkungan.
- Organisasi pengoperasi RSG-GAS hendaknya melakukan pemantauan lepasan radiasi berdasarkan per radionuklida yang dilepas dari pengoperasian reaktor sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan.

**Tabel 1** Lepasn Radioaktivitas tahun 2012-2016 [8, 9, 10, 11, 12]

Lepasn Radioaktivitas			2012	2013	2014	2015	2016
A	Aktivitas gas mulia yang dilepaskan ke atmosfer	:	$8,41 \times 10^3$ Bq/l	$4,44 \times 10^3$ Bq/l	$4,89 \times 10^3$ Bq/l	$4,89 \times 10^3$ Bq/l	$5,43 \times 10^{-4}$ Bq/l
B	Aktivitas yodium yang dilepaskan ke atmosfer	:	$1,58 \times 10^{-5}$ Bq/l	$2,68 \times 10^{-5}$ Bq/l	$1,42 \times 10^{-4}$ Bq/l	$5,734 \times 10^{-1}$ Bq/l	-
C	Aerosol (partikel.Sr, Y, Cs, dll)	:	$8,30 \times 10^{-2}$ Bq/l	$2,29 \times 10^{-4}$ Bq/l	$5,43 \times 10^{-4}$ Bq/l	$8,16 \times 10^{-4}$ Bq/l	$8,28 \times 10^{-4}$ Bq/l

**Tabel 2** Batas Lepas

gas mulia ke atmosfer (Bq/l)	yodium (Bq/l)	Lepasan Aerosol (partikel.Sr, Y, Cs, dll (Bq/l)
$1,90 \times 10^4$	$8,50 \times 10^4$	$7.03 \times 10^{-1}$

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Undang-undang No. 10 tahun 1997 (1997), ketenaganukliran, Jakarta.
- [2] Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 (2014), Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta.
- [3] BATAN, (2006), Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS Rev.9, No.: RSG.KK.02.04.63.06. Volume 1, Banten
- [4] Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2012 (2012), Jenis Rencana Usaha san/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup, Jakarta
- [5] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 7 Tahun 2013 (2013), Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan, Jakarta.
- [6] Alfyan, M. (2011), Implementasi Model Lingkungan Generik sebagai Opsi Nilai Batas Radioaktivitas Di Udara dan Air, prosiding Keselamatan Nuklir 2016, ISSN: 1412-3258, Jakarta.
- [7] Pandi, L.Y. dan Tuka, V, (2016), Harmonisasi Indikator Kinerja Keselamatan dan Laporan Operasi Reaktor Non Daya, Prosidingseminar Keselamatan Nuklir 2016, ISSN: 1412-3258, Jakarta.
- [8] BATAN (2012), Laporan Operasi RSG-GAS tahun 2012, Banten.
- [9] BATAN (2013), Laporan Operasi RSG-GAS tahun 2013, Banten.
- [10] BATAN (2014), Laporan Operasi RSG-GAS tahun 2014, Banten.
- [11] BATAN (2015), Laporan Operasi RSG-GAS tahun 2015, Banten.
- [12] BATAN (2016), Laporan Operasi RSG-GAS tahun 2016, Banten.



## KOMPETENSI DASAR UNTUK PETUGAS PERAWATAN INSTALASI NUKLIR NON REAKTOR (INNR)

Imron<sup>1</sup>, Ardiyani Eka Patriasari<sup>2</sup>, Supyana<sup>3</sup>

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120

Email: i.imron@bapeten.go.id, a.ekapatriasari@bapeten.go.id dan s.supyana@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan kajian tentang kualifikasi dan kompetensi dasar petugas Perawatan Instalasi Nuklir Non Reaktor. Tinjauan ini diperlukan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk memperbaiki dan melengkapi peraturan perawatan instalasi nuklir non reaktor yang telah diterbitkan, sehingga dapat memberikan pedoman dalam pelaksanaan sertifikasi petugas instalasi dan bahan nuklir. Keterbatasan infrastruktur petugas perawatan (meliputi kompetensi dan fasilitas pelatihan) berpotensi terjadi kerusakan fasilitas nuklir, khususnya fasilitas nuklir non reaktor. Kondisi keterbatasan tersebut harus dihindari karena akan menyebabkan kerugian dan menjadi ancaman keselamatan terhadap pekerja dan masyarakat. Hal ini terjadi karena pada umumnya instalasi nuklir non reaktor belum memiliki petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor dengan suatu kompetensi yang terstandar. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan Instalasi Nuklir Nonreaktor, bertujuan untuk memberikan ketentuan keselamatan yang harus dipenuhi Pemegang Izin dalam menyusun, menetapkan dan melaksanakan program Perawatan INNR dalam rangka menjamin INNR beroperasi dengan selamat. Persyaratan kompetensi petugas perawatan seperti yang tercantum dalam perka tersebut yaitu harus memiliki surat izin bekerja sebagai supervisor atau operator INNR dan lulus pelatihan mengenai Perawatan INNR. Dalam menetapkan kompetensi ini tidak melalui pengujian kualifikasi seperti halnya yang dilakukan oleh supervisor dan operator. Adapun kekurangan dalam perka tersebut yaitu belum mencantumkan kompetensi dasar dan materi pelatihan yang harus dimiliki petugas perawatan. Sedangkan dalam Peraturan kepala nomor 6 tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir belum mengatur tentang ketentuan kompetensi petugas perawatan Instalasi nuklir non reaktor. Hasil kajian dapat dirumuskan bahwa, materi pelatihan untuk petugas perawatan INNR terdiri dari 12 materi pelatihan yang meliputi peraturan perundang-undangan terkait perawatan INNR; proteksi dan keselamatan radiasi; budaya keselamatan; dan lain-lain. Sedangkan, hasil rumusan kompetensi dasar petugas perawatan INNR antara lain berjumlah 5 (lima) materi dasar mencakup 21 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) dan 9 materi utama yang mencakup 34 indikator keberhasilan Kinerja (IKK). Jangka waktu pelatihan tersebut paling kurang 82 jam.

**Kata kunci:** Petugas Perawatan, Kompetensi Dasar, Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK)

### ABSTRACT

Had carried out a review about qualification and standard competencies the maintenance officer for non-reactor nuclear installations. This review is needed as a part of consideration material to improve and complete the regulation about maintenance for INNR therefore this regulation will provide guidelines fo certification the officer of installation and nuclear material. Lack of infrastructure maintenance officer (including competence and training facilities) has potential to damage of nuclear facility, particularly INNR. Conditions such limitations should be avoided because it will cause harm and be a threat to officer and society. This happens because a maintenance officer for INNR do not yet have a standardized competency. Based on BAPETEN Chairman Regulation No. 9 Year 2015 on terms of maintenance for INNR, which aims to provide the safety requirements to be met by the License Holder in drafting, setting and implementation maintenance program and to ensure the operating safely. The competence requirement for maintenace officer such has stated in it, officers have work permit as supervisor or operator of INNR and have pass the training. In determining this competency is not through qualification testing. Lack of regulation has not included basic competence and training material that must be have for maintenace officer. While, on the BAPETEN Chairman Regulation No. 6 Year 2013 on work permit for installation and nuclear material officers, has not seting about terms of competence the maintenance officer for INNR. Therefore in this paper formulated, the training material for it consists of 12 materials include regulation about maintenance of INNR; safety and radiation protection; etc. While, The formulation of basic competencies for the maintenance officer include five basic theory consist of 21 key performance indicator (KPI) and. 9 main topic with 34 key performance indicator (IKK). The duration of training is at least 82 hours.

**Keywords:** maintenance officers, competence, key performance indicator (KPI)

## I. PENDAHULUAN

Fasilitas/Instalasi Nuklir mempunyai potensi terjadinya kecelakaan pada fasilitas instalasi Nuklir non Reaktor. Kejadian tersebut disebabkan terutama akibat kesalahan manusia yang mengabaikan prinsip-prinsip keselamatan sehingga terjadi kecelakaan. Kejadian ini dapat mengakibatkan adanya korban baik untuk operator maupun masyarakat. Selain itu aspek keselamatan non radiasi juga memiliki potensi yang cukup besar karena terkait minimnya perawatan Struktur, Sistem dan Komponen karena gagalnya fungsi sistem keselamatan.

Fasilitas/Instalasi Nuklir memiliki sistem keselamatan dari fasilitas untuk mencegah kejadian kecelakaan. Hal ini wajar karena pada fasilitas instalasi nuklir non reaktor terdapat berinteraksi antara pekerja dan masyarakat dan mempunyai probabilitas akan terjadinya kejadian kecelakaan juga sangat ditentukan oleh faktor kualitas peralatan keselamatan, prosedur dan sumber daya manusia. Dengan kenyataan ini maka aspek kepatuhan pekerja terhadap prosedur serta keefektifan prosedur sangat menentukan tingkat keselamatan fasilitas.

Amanah Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan Instalasi Nuklir Nonreaktor, yang bertujuan memberikan ketentuan keselamatan yang harus dipenuhi Pemegang Izin dalam menyusun, menetapkan dan melaksanakan program Perawatan INNR dalam rangka menjamin INNR beroperasi dengan selamat. Dalam peraturan tersebut Pemegang Izin harus menunjuk seorang petugas perawatan Instalasi nuklir non Reaktor. Dalam perkara tersebut petugas haruslah seorang operator Instalasi nuklir non Reaktor dengan tambahan pelatihan perawatan. Namun belum dijelaskan kompetensi dan silabus pelatihan yang harus di miliki oleh petugas tersebut. Padahal jika membandingkan dengan penanganan Sistem struktur komponen di reaktor non daya, tingkat kompetensi yang jelas dan tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 tahun 2013.

Dari alasan itu perlu ditunjuk suatu petugas perawatan instalasi nuklir bahan nuklir yang kompeten pada fasilitas tersebut. BAPETEN perlu menetapkan standar kompetensi petugas dan silabus pelatihan tersebut. Masalah kompetensi itu menjadi penting, karena kompetensi menawarkan suatu kerangka kerja organisasi yang efektif dan efisien.

Dengan dibuatnya standar kompetensi petugas perawatan maka diharapkan dihasilkan petugas yang berkualifikasi dan memiliki pengetahuan tentang perawatan, standar keselamatan, pedoman dan peraturan yang terkait, dan mengenal operasi instalasi. Petugas tersebut bertanggung jawab dalam pengembangan prosedur operasi yang terkait dengan perawatan instalasi nuklir non reaktor dan memeriksa dan mengesahkan semua aktivitas perawatan instalasi. Sampai saat ini BAPETEN belum menetapkan peraturan yang mengatur lebih rinci mengenai pelatihan petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor. Oleh karena itu dalam makalah ini dirumuskan usulan silabus pelatihan beserta ketentuan kelulusan pelatihan, dan kompetensi

dasar yang harus dimiliki oleh petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor.

## II. POKOK-POKOK BAHASAN

Metode yang dilakukan dalam penulisan ini adalah tinjauan terhadap beberapa dokumen yang terdiri dari peraturan, standar internasional, dan dokumen izin. Dokumen-dokumen tersebut antara lain: *IAEA Safety Standar NS-R-5 (Rev.1) Safety Of Nuclear Fuel Cycle Facilities* [1], Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2015 [2], Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 [3], dan Laporan Analisis Keselamatan Fasilitas Instalasi Radiometalurgi [4].

Pada Fasilitas/Instalasi Nuklir, Pemegang izin wajib menetapkan, menerapkan dan merawat sistem struktur komponen yang menopang keselamatan utama. Dalam dokumen *IAEA Safety Standar NS-R-5 (Rev.1) Safety Of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, menyatakan bahwa sistem struktur dan komponen Instalasi nuklir terdiri atas kumpulan peralatan, instalasi, personil dan program/ prosedur yang bersama sama memberikan pencegahan terhadap kecelakaan instalasi nuklir [1].

Pendekatan *grading approach* juga diterapkan pada fasilitas instalasi nuklir, sesuai dengan desain dan resiko sehingga perlu fleksibilitas dalam mengkaji aspek keselamatan. Pada fasilitas/instalasi nuklir terdapat potensi signifikan pada keselamatan terutama terkait bahaya terjadinya kecelakaan. Sedangkan untuk mencegah dari sisi pekerja adalah kemampuan pekerja mengenal dan menjalankan prosedur. Keefektifan prosedur dan kendali administrasi juga menjadi faktor yang menentukan dalam pencegahan kecelakaan terhadap instalasi nuklir [1].

Dalam menjaga keselamatan fasilitas nuklir non reaktor selain supervisor atau operator INNR, juga sangat diperlukan petugas perawatan INNR yang penting peranannya. Saat ini supervisor atau operator INNR, dibekali kemampuan dan kompetensi terkait perawatan. Hal ini terlihat dari materi yang ditetapkan menjadi seorang supervisor atau operator INNR [3]. Sehingga seorang petugas perawatan INNR harus memiliki atau sudah terqualifikasi menjadi supervisor atau operator INNR, dan harus memperoleh perawatan INNR [2].

Kemampuan petugas perawatan merupakan bagian dari mekanisme yang diberikan dalam rangka pencegahan kecelakaan. Setelah semua tindakan yang diberikan pada fasilitas, seperti pemeliharaan komponen kritis, sistem instrumentasi, sistem VAC, sistem sarana dukung, maka tindakan dari petugas perawatan merupakan hal yang sangat penting dilakukan [4]. Dalam pengembangan dan mempertahankan kemampuan petugas perawatan tersebut, maka perlu adanya penentuan kompetensi dasar beserta Indikator Kinerja Keberhasilan (IKK) yang menjadi acuan dalam pelatihan petugas tersebut. Analisis kebutuhan terkait kompetensi dasar petugas perawatan ini dapat dilihat dari pemaparan dalam dokumen izin seperti LAK maupun melalui praktik di lapangan [4]. Pengembangan kompetensi dan IKK ini dibutuhkan untuk mendukung kompetensi petugas perawatan di Instalasi Nuklir yang handal. Kompetensi yang handal dari petugas perawatan

tersebut dilakukan melalui pelatihan Petugas perawatan Instalasi dan bahan Nuklir, dimana salah satu persyaratan untuk keselamatan instalasi nuklir non reaktor adalah harus lulus pelatihan petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor [2]. Dalam makalah ini akan dibahas mengenai materi-materi pelatihan untuk petugas perawatan, waktu efektif untuk pelatihan, dan persyaratan yang harus dipenuhi untuk mengikuti pelatihan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Kompetensi Dasar Petugas Perawatan Instalasi nuklir Non Reaktor

Pada fasilitas instalasi nuklir non reaktor, Pemegang izin wajib menetapkan, kompetensi dasar petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor. Pendekatan diterapkan pada fasilitas instalasi nuklir non reaktor, sesuai dengan desain dan resiko sehingga perlu fleksibilitas dalam mengkaji aspek keselamatan. Pada fasilitas instalasi nuklir terdapat potensi signifikan pada keelamatan terutama terkait bahaya terjadinya kecelakaan. Sedangkan untuk mencegah dari sisi pekerja adalah kemampuan pekerja mengenal dan menjalankan prosedur. Selain itu keefektifan prosedur dan kendali administrasi juga menjadi faktor yang menentukan dalam pencegahan kecelakaan nuklir.

Kompetensi dasar Petugas Perawatan Instalasi nuklir adalah kemampuan untuk menerapkan keahlian, pengetahuan, dan sikap kerja dalam melaksanakan tugas dalam aspek perawatan instalasi nuklir non reaktor. Kompetensi tersebut tercakup dalam memuat 5 (lima) materi dasar mencakup 21 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) dan 9 materi utama yang mencakup 34 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) dan akan menjadi dasar dalam menentukan silabus pelatihan dan jam pelatihan. Materi kompetensi terdiri dari materi dasar dan materi utama. Karena dalam kualifikasi petugas perawatan tersebut tidak terbagi dalam supervisor dan teknisi maka dalam materi utama tidak dibedakan antara supervisor dan teknisi, materi utama hanya untuk satu kualifikasi yaitu petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor. Berikut rincian kompetensi untuk petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor.

#### A. Materi Dasar

Materi dasar yang diusulkan dalam pelatihan perawatan INNR, meliputi:

##### 1. Peraturan Perundang undangan terkait perawatan Instalasi nuklir non reaktor.

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu:

- a. Menyebutkan peraturan perundang undangan terkait perawatan Instalasi nuklir non reaktor
- b. Menjelaskan peraturan perundang undangan terkait perawatan Instalasi nuklir non reaktor

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- a. Menyebutkan undang - undang Ketenaganukliran
- b. Menyebutkan peraturan pemerintah tentang perawatan Instalasi nuklir non reaktor

- c. Menyebutkan peraturan pemerintah kepala BAPETEN tentang perawatan Instalasi nuklir non reaktor

##### 2. Keselamatan Nuklir

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan keselamatan nuklir.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- a. Menjelaskan tujuan keselamatan nuklir
- b. Menjelaskan prinsip keselamatan instalasi nuklir non reaktor
- c. Menjelaskan persyaratan desain sistem keselamatan
- d. Menjelaskan sistem struktur dan komponen instalasi nuklir non reaktor

##### 3. Pengetahuan Dasar Teknik Perawatan

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menerapkan pengetahuan dasar teknik perawatan.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- a. Menjelaskan dasar dasar teknik perawatan
- b. Menguraikan metoda dan teknik yang digunakan didalam melakukan kegiatan perawatan
- c. Menjelaskan perencanaan dan penjadwalan perbaikan

##### 4. Proteksi dan keselamatan radiasi

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menerapkan prinsip proteksi dan keselamatan radiasi pada perawatan instalasi nuklir non reaktor.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- a. Menyebutkan jenis sumber radiasi
- b. Menjelaskan filosofi tujuan keselamatan radiasi khususnya terkait pelaksanaan kegiatan perawatan.
- c. Menjelaskan desain keselamatan radiologi instalasi.
- d. Menjelaskan dosis pekerja radiasi mencakup NBD dan pembatas dosis
- e. Menjelaskan daerah kerja radiasi
- f. Menguraikan prinsip pekerja radiasi

##### 5. Budaya Keselamatan

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menerapkan budaya keselamatan.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- a. Menjelaskan pengertian budaya dan budaya keselamatan
- b. Menjelaskan karakteristik dan ciri ciri budaya keselamatan
- c. Menjelaskan penerapan budaya keselamatan dan contohnya
- d. Menjelaskan pengembangan penerapan budaya keselamatan

e. Menjelaskan isu-isu utama budaya keselamatan.

#### B. Materi Utama

Materi utama merupakan materi yang menunjukkan bahwa petugas perawatan memiliki pengetahuan dasar dan khusus untuk melaksanakan tugas. Adapun materi utama yang diusulkan dalam pelatihan perawatan INNR, meliputi:

##### 1. Sistem dan Komponen keselamatan Instalasi nuklir non reaktor

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan Sistem dan Komponen keselamatan Instalasi nuklir non reaktor dan pendukungnya.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- Menyebutkan klasifikasi instalasi nuklir non reaktor
- Menjelaskan diagram/ skema/gambar/ komponen keselamatan instalasi nuklir non reaktor.
- Menjelaskan pengoperasian sistem bantu instalasi nuklir non reaktor.

##### 2. Sistem dan Komponen kelistrikan

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan sistem dan komponen kelistrikan.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah menjelaskan sistem dan komponen kelistrikan.

##### 3. Sistem dan Komponen Instrumentasi

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan sistem dan komponen Instrumentasi.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah menjelaskan sistem dan komponen instrumentasi.

##### 4. Sistem dan komponen mekanik

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan sistem dan komponen mekanik.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah menjelaskan sistem dan komponen mekanik.

##### 5. Perawatan Sistem dan Komponen kelistrikan

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan perawatan sistem dan komponen kelistrikan.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- Melaksanakan perawatan sistem dan komponen kelistrikan sesuai prosedur
- Melaksanakan pengisian rekaman perawatan
- Melaksanakan pemeriksaan kelengkapan sarana perawatan sesuai prosedur

##### 6. Sistem dan Komponen Instrumentasi

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan perawatan sistem dan komponen instrumentasi.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- Melaksanakan perawatan sistem dan komponen instrumentasi sesuai prosedur
- Melaksanakan pengisian rekaman perawatan
- Melaksanakan pemeriksaan kelengkapan sarana perawatan sesuai prosedur

##### 7. Sistem dan Komponen Mekanik

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan perawatan sistem dan komponen mekanik.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah:

- Melaksanakan perawatan sistem dan komponen mekanik sesuai prosedur
- Melaksanakan pengisian rekaman perawatan
- Melaksanakan pemeriksaan kelengkapan sarana perawatan sesuai prosedur

##### 8. Manajemen perawatan Instalasi nuklir non reaktor

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menyusun jadwal perawatan dan program perawatan

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah

- Menjelaskan struktur organisasi perawatan
- Menjelaskan tugas dan tanggung jawab masing-masing bagian dalam organisasi perawatan
- Menjelaskan rencana program perawatan
- Menjelaskan proses kendali administratif dan tindakan perbaikan
- Menjelaskan dokumentasi dan pelaporan
- Menjelaskan sistem pengawasan perawatan
- Menjelaskan proses evaluasi kegiatan perawatan

##### 9. Manajemen Penuaan

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu menjelaskan degradasi material sistem dan komponen akibat kondisi operasi.

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah

- Menjelaskan definisi terkait penuaan
- Menyebutkan identifikasi SSK kritis
- Menjelaskan tentang proses penuaan
- Menjelaskan tentang perlakuan terhadap SSK kritis
- Memahami penuaan pada SSK Instalasi nuklir non reaktor

##### 10. Modifikasi Sistem Struktur dan Komponen

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu melaksanakan modifikasi SSK

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah

- a. Menjelaskan definisi modifikasi
- b. Menjelaskan ketentuan modifikasi
- c. Menjelaskan prosedur modifikasi
- d. Menjelaskan pelaksanaan modifikasi

11. Pengawasan terhadap pelaksanaan uji merusak dan tidak merusak

Kompetensi dasar yang harus dimiliki terkait dengan materi ini adalah petugas mampu melakukan pengawasan terhadap pelaksanaan uji merusak dan tidak merusak

Dalam materi ini Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) adalah

- a. Menjelaskan prosedur pengawasan terhadap pelaksanaan uji merusak dan tidak merusak
- b. Menjelaskan evaluasi sarana dan prasarana
- c. Menjelaskan penilaian hasil perawatan

## B. Jenis dan Persyaratan Kualifikasi Petugas Perawatan

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, adapun BAPETEN perlu menetapkan jenis petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor serta persyaratannya. Adapun jenis petugas hanya terdiri dari petugas perawatan yang telah memiliki surat izin bekerja sebagai operator dan supervisor instalasi nuklir non reaktor dan telah lulus pendidikan dan pelatihan perawatan Instalasi nuklir non reaktor.

Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Bahan Nuklir Persyaratan, belum mencantumkan tentang ketentuan petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor. Dalam proses perubahan perka tersebut hendaknya memasukan jenis kualifikasi petugas perawatan INNR dengan persyaratan umum meliputi :

- a. Formulir permohonan izin bekerja petugas perawatan INNR yang telah diisi;
- b. Salinan bukti identitas diri ;
- c. Surat hasil pemeriksaan kesehatan umum;
- d. Salinan sertifikat lulus Pelatihan berdasarkan Kompetensi; dan
- e. Salinan bukti pembayaran biaya permohonan Izin Bekerja.
- f. Salinan SIB operator atau supervisor INNR

Dalam hal permohonan perpanjangan (rekualifikasi) sertifikasi petugas perawatan, Pemegang Izin dapat mengajukan permohonan perpanjangan Izin Bekerja Petugas IBN paling lama 2 (dua) minggu sebelum Izin Bekerja Petugas perawatan IBN berakhir dengan persyaratan sebagai berikut:

- a. formulir permohonan izin yang telah diisi;
- b. surat hasil pemeriksaan kesehatan umum;
- c. salinan sertifikat lulus Pelatihan penyegaran;
- d. salinan bukti pembayaran biaya permohonan Izin Bekerja; dan
- e. salinan SIB operator atau supervisor INNR

Pelatihan paling sedikit 1 (satu) kali selama masa berlaku Izin Bekerja. Pelatihan penyegaran dilaksanakan oleh lembaga pelatihan yang telah terakreditasi atau mendapat penunjukkan dari badan pengawas.

## C. Pelatihan Petugas Perawatan Instalasi Nuklir Non Reaktor

Adapun usulan dalam pelatihan petugas Perawatan Instalasi nuklir non reaktor berdasarkan tinjauan yang dilakukan bahwa pelatihan tersebut paling kurang memuat 5 (lima) materi dasar mencakup 21 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) dan 11 materi utama yang mencakup 34 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK), dapat diberikan materi tambahan jika diperlukan. Selain itu, lama waktu pelatihan untuk permohonan paling kurang 82 jam..

Pelatihan harus dilaksanakan oleh lembaga Pelatihan yang telah tersertifikasi oleh lembaga yang terakreditasi, atau oleh lembaga Pelatihan yang ditunjuk oleh Badan pengawas. Penunjukan lembaga Pelatihan berdasarkan pedoman teknis yang diterbitkan oleh Kepala BAPETEN yang memuat sistem manajemen; kompetensi pengajar; fasilitas pelatihan; dan kurikulum, silabus dan bahan ajar. Dalam pelaksanaan pendidikan dan Pelatihan BAPETEN melakukan pemantauan pendidikan dan pelatihan sebagai bagian dari surveillance dalam klausul penunjukan.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas maka terdapat beberapa usulan yang disimpulkan dalam hal kualifikasi dan kompetensi dasar untuk petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor adalah sebagai berikut:

1. Kualifikasi untuk petugas perawatan instalasi nuklir non reaktor yang telah memiliki SIB sebagai operator dan atau supervisor Instalasi nuklir non reaktor dan telah lulus pendidikan dan pelatihan .
2. Kompetensi dasar yang harus dimiliki paling kurang memuat memuat 5 (lima) materi dasar mencakup 21 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK) dan 9 materi utama yang mencakup 34 Indikator Keberhasilan Kinerja (IKK).
3. Lama waktu pelatihan untuk permohonan baru paling kurang 82 jam.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, 2014, *Safety Of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, IAEA Safety Standards, Vienna
- [2] BAPETEN, 2015, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan Instalasi Nuklir Nonreaktor.
- [3] BAPETEN, 2013, Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Bahan nuklir.
- [4] BATAN, 2012, Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Radiometalurgi



## PENGEMBANGAN PERATURAN MENGENAI KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NON DAYA

**Angga Kautsar, Dwihardjo Rushartono, Yudi Pramono**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir*

Email: a.kautsar@bapeten.go.id, [d.rushartono@bapeten.go.id](mailto:d.rushartono@bapeten.go.id), [j.pramono@bapeten.go.id](mailto:j.pramono@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Perka BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya bertujuan untuk menetapkan persyaratan keselamatan operasi agar operasi reaktor nondaya dapat dilakukan dengan selamat. Perkembangan regulasi nasional dan standar internasional yang terjadi sejak peraturan tersebut ditetapkan sangatlah berpengaruh terhadap kemampuserapannya dan harmonisasi dengan peraturan yang lainnya. Terbitnya Peraturan Pemerintah (PP) 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir serta PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir ditambah dengan berbagai peraturan kepala BAPETEN lainnya yang bersinggungan dalam pengaturannya menjadi salah satu latar belakang untuk dilakukannya penggantian dari Peraturan Kepala BAPETEN tersebut. Selain itu penggantian Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 dilakukan berdasarkan dari masukan *stakeholder* dan unit kerja teknis di BAPETEN.

**Kata kunci:** keselamatan, operasi, reaktor nondaya.

### ABSTRACT

*BAPETEN Chairman Regulation No2 Year 2011 on the Safety Provision of Research Reaktor Operations aims to define the operation safety requirements of the research reaktor so the reaktor can be operated safely. The development of national regulation and international standards that have occurred since the regulation published determined to have an effect on its capability and harmonization with other regulations. The issuance of Government Regulation No 54 Year 2012 on Safety and Security of Nuclear Installation and Materials and Government Regulation No 2 Year 2014 on Licensing of Nuclear Installation and Utilization of Nuclear Material coupled with various regulations of other BAPETEN chairman regulation which intersect in its arrangement become one of background for the revision of the regulation . In addition, the replacement of BAPETEN Chairman Regulation No 2 Year 2011 was conducted based on input from stakeholder assessment and technical work units at BAPETEN.*

**Keywords:** safety, operation, research reaktor.

### I. PENDAHULUAN

Indonesia pada saat ini memiliki 3 (tiga) reaktor nondaya yang semuanya masih beroperasi. Ketiga reaktor ini adalah 1 (satu) reaktor serbaguna dan 2 (dua) reaktor TRIGA yang kesemuanya dikelola oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Untuk memastikan ketiga reaktor nondaya tersebut beroperasi dengan selamat, maka BAPETEN sebagai lembaga pemerintah yang bertanggungjawab dalam pengawasan ketenaganukliran, menerbitkan berbagai peraturan yang harus dipatuhi oleh pemegang izin, salah satunya yaitu Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya (Perka 2/2011).

Perka 2/2011 disusun berdasarkan amanat dari Pasal 18 ayat (3) Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2006 tentang Perizinan Reaktor Nuklir (PP 43/2006). Perka 2/2011 ini berlaku untuk semua jenis reaktor nondaya termasuk perangkat kritis dan diterapkan dengan pendekatan berperingkat bergantung kepada tingkat kemampuserapan suatu reaktor nondaya [1].

Diluar ketentuan lain dan ketentuan penutup, Perka 2/2011 terdiri dari 9 BAB yaitu sebagaimana terdapat dalam tabel 1.

**Tabel 1.** BAB dalam Perka 2/2011

BAB	Judul
I.	Ketentuan Umum
II.	Manajemen dan verifikasi keselamatan
III.	Batasan dan Kondisi Operasi dan prosedur operasi
IV.	Uji fungsi dan kinerja
V.	Perawatan
VI.	Manajemen teras dan penanganan bahan bakar nuklir
VII.	Pelaporan dan rekaman
VIII.	Utilisasi, modifikasi dan peralatan eksperimen
IX.	Proteksi dan keselamatan radiasi

Pasal 18 ayat (3) PP 43/2006 menyatakan “Ketentuan mengenai operasi reaktor nuklir, perizinan petugas reaktor nuklir, dan penyusunan dokumen diatur lebih lanjut dengan Peraturan Kepala BAPETEN”[2]. Berdasarkan pasal tersebut maka diterbitkanlah Perka 2/2011.

Pada tahun 2017 ini, Perka 2/2011 sudah berusia 6 tahun sejak diterapkan. Suatu peraturan sebaiknya setelah 5 (lima) tahun ditinjau lagi kemampuserapan dan harmonisasinya dengan peraturan lainnya. Penulisan makalah ini dilakukan untuk mengidentifikasi urgensi untuk melakukan revisi Perka 2/2011 dan menyusun kerangka dari peraturan kepala hasil revisi.

## II. LANDASAN TEORI

### II.1. Hasil Kajian P2STPIBN

Pada tahun 2016, telah dilakukan kajian mengenai penerapan Perka 2/2011 yang dilakukan unit pengkajian instalasi dan bahan nuklir BAPETEN. Kegiatan kajian ini memfokuskan kepada kajian implementasi peraturan kepala untuk mengetahui kemampuserapan di beberapa fasilitas reaktor non daya, mengetahui kendala yang dihadapi dan untuk mendapatkan pendapat, usulan dan masukan dari setiap fasilitas[3]. Kajian dilakukan selain dengan melakukan diskusi dan koordinasi dengan beberapa narasumber, juga dengan melaksanakan kajian mandiri terhadap beberapa dokumen referensi pendukung.

Dari hasil kajian tersebut diperoleh masukan utama sebagai berikut:

1. Konten pada pasal 14 ayat (2) Perka 2/2011 tidak sesuai dengan lingkup pada Peraturan Kepala BAPETEN No 2 tahun 2015 tentang Verifikasi dan Penilaian Keselamatan Reaktor Nondaya; dan
2. Pasal 16 ayat (1) Perka 2/2011 masih relevan karena diperlukan surat izin bekerja (SIB) sedangkan untuk ayat (2) kurang relevan karena tidak diperlukan adanya SIB.
3. Pada Bab IV pada pasal 2 Perka 2/2011 perlu ditambahkan mengenai perawatan rutin. Perawatan rutin harus tetap dilakukan selama reaktor berhenti beroperasi, sebagai contoh reaktor Triga Bandung, reaktor tidak beroperasi dalam waktu yang lama.
4. Pada Bab V Perka 2/2011 belum memasukkan perawatan untuk reaktor yang tidak beroperasi dalam jangka waktu yang lama (extended shutdown).
5. Pada Perka mengenai BKO perlu dijelaskan apakah perubahan dari sebagian BKO berarti pemegang izin harus mengajukan izin baru. Perlu untuk dijelaskan apakah apabila terjadi perubahan persyaratan surveilan dan persyaratan administratif pemegang izin perlu mengajukan izin baru, sebagai contoh:
  - a) Apabila kajian keselamatan dalam aspek kajian penuaan pemegang izin memperketat frekuensi surveilan.
  - b) Pemegang izin mengubah struktur organisasi karena reorganisasi.

### II.2. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (PP 54/2012)

Dalam PP 54/2012 pada bab yang mengatur tentang keselamatan instalasi nuklir terdapat 8 bagian yaitu umum, pemantauan tapak, desain dan konstruksi, komisioning, operasi, modifikasi, dekomisioning, dan verifikasi dan penilaian keselamatan[4].

Pada bagian operasi di PP 54/2012 terdapat beberapa hal penting terkait operasi diantaranya yaitu:

1. Dalam pelaksanaan operasi instalasi nuklir, pemegang izin wajib menetapkan batasan dan kondisi operasi, prosedur operasi, program perawatan, surveilan, dan inspeksi, dan program manajemen penuaan.
2. Pemegang izin wajib menyampaikan kepada Kepala BAPETEN laporan tentang operasi instalasi nuklir, dan pelaksanaan rencana pengelolaan lingkungan hidup dan rencana pemantauan lingkungan hidup secara berkala.

### II.3. Peraturan Kepala BAPETEN yang Terkait

Pada saat ini terdapat beberapa BAB di Perka 2/2011 yang sebenarnya sudah menjadi peraturan kepala BAPETEN tersendiri. Terdapatnya pengaturan ganda seperti itu selain akan menimbulkan kebingungan dalam pengacuan oleh pemegang izin juga berpotensi terdapat disharmonisasi antar peraturan. Peraturan tersebut antara lain:

**Tabel 2.** Hubungan Perka 2/2011 dengan perka lain

Perka 2/2011	Perka terkait
BAB II. Manajemen dan verifikasi keselamatan	Perka Nomor 2/2015 Tentang verifikasi dan penilaian keselamatan Reaktor nondaya
BAB III. BKO dan prosedur operasi	Perka Nomor 9/2013 Tentang Batasan dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya
BAB V. Perawatan	Perka Nomor 5/2011 Tentang Ketentuan Perawatan Reaktor Nondaya
BAB VI. Manajemen teras dan penanganan bahan bakar nuklir	Perka Nomor 2/2014 Tentang Manajemen Teras dan Penanganan dan Penyimpanan Bahan Nuklir Reaktor Nondaya
BAB VIII. Utilisasi, modifikasi dan peralatan eksperimen	Perka Nomor 5/2012 Tentang Keselamatan dalam Utilisasi dan Modifikasi Reaktor Nondaya
BAB IX. Proteksi dan keselamatan radiasi	Perka Nomor 4/2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir

## II.4. Berkembangnya Ilmu Pengetahuan Dan Standar Terkait Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya.

Pada tahun 2016 IAEA telah mengeluarkan *Specific Safety Requirements (SSR-3)* tentang *Safety of Research Reactors* yang menggantikan NS-R-4 yang merupakan salah satu dokumen referensi dalam penyusunan Perka 2/2011. SSR-3 menggunakan format baru dokumen IAEA dengan beberapa bab. Lingkup SSR-3 tidak berbeda jauh dengan NS-R-4 hanya dengan penambahan perangkat sub kritis, penggantian bab dekomisioning menjadi persiapan dekomisioning, dan bab khusus antarmuka keselamatan dan keamanan. Pada bab operasi terdapat 22 persyaratan[5].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### III.1 Konsiderans

Pada tahun 2012 diterbitkan PP54/2012 dikarenakan adanya kebutuhan untuk menyusun peraturan yang mengatur khusus tentang keselamatan nuklir, maka. Pada Pasal 29 PP 54/2012 tercantum "Ketentuan lebih lanjut mengenai penatalaksanaan operasi diatur dengan Peraturan Kepala BAPETEN" sehingga lebih tepat apabila menjadi dasar untuk penyusunan peraturan kepala terkait keselamatan operasi reaktor nondaya. Sementara itu pada tahun 2014, PP 43/2006 telah dicabut dengan diberlakukannya Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir yang cakupan pengaturannya lebih luas dari PP 43/2006 yang hanya mengatur perizinan reaktor nuklir. Akan tetapi di dalam PP 2/2014 tersebut tidak terdapat dasar untuk penyusunan penyusunan peraturan kepala terkait keselamatan operasi reaktor nondaya karena lingkupnya hanya pada mekanisme perizinannya saja. Dari pertimbangan di atas konsiderans untuk penyusunan revisi peraturan kepala terkait keselamatan operasi reaktor nondaya mengambil dari Pasal 29 PP 54/2012.

Sehingga pada bagian menimbang revisi Perka diusulkan bahwa untuk melaksanakan ketentuan Pasal 29 Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, perlu menetapkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya, sementara itu substansi ketentuan teknis dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya dipandang sudah tidak sesuai lagi dengan perkembangan hukum dan kebutuhan masyarakat serta perkembangan standar internasional sehingga perlu diatur kembali dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang baru;

### III.2 Ketentuan Umum

Pada bagian ini terdapat definisi, tujuan dan ruang lingkup peraturan, pendekatan berperingkat, dan manajemen keselamatan.

Untuk pengembangan peraturan definisi disesuaikan dengan isi perka dan diharmoniskan dengan peraturan-peraturan terkini. Tujuan penyusunan perka adalah menetapkan persyaratan keselamatan operasi

agar operasi reaktor nondaya dapat dilakukan sesuai dengan tujuan operasi dengan selamat. Perka ini berlaku untuk semua reaktor nondaya termasuk perangkat kritis.

Ketentuan mengenai pendekatan berperingkat bergantung pada karakteristik dan potensi bahaya radiologik Reaktor Nondaya. Adapun karakteristik dan potensi bahaya radiologik berdasarkan jenis reaktor nondaya, jenis bahan bakar, dan tingkat dayanya.

Pemegang izin harus melaksanakan manajemen keselamatan, yang meliputi tanggung jawab pemegang izin, sistem manajemen, dan faktor manusia. Dalam melaksanakan manajemen keselamatan Pemegang Izin memiliki tanggung jawab utama terhadap keselamatan reaktor nondaya.

Pada landasan teori telah diuraikan bahwa pada saat ini terdapat beberapa peraturan kepala BAPETEN yang berpotensi memunculkan pengaturan ganda bahkan pertentangan antara peraturan. Perbedaan pengaturan yang terjadi salah satunya dalam pelaksanaan penilaian keselamatan berkala sehingga yang berbeda muatan laporan dan waktu pelaksanaannya antara Perka 2/2011 dan Perka 2/2015.

Sehingga untuk mencegah terjadinya hal di atas pada revisi Perka 2/2011, semua ketentuan yang sudah ada peraturan kepala tersendiri dihapuskan dan langsung dirujuk ke peraturannya tersendiri. Disebutkan pelaksanaan operasi reaktor nondaya *mutatis mutandis* dengan Peraturan Kepala BAPETEN terkait verifikasi dan penilaian keselamatan, batasan dan kondisi operasi, program perawatan, manajemen teras, program manajemen penuaan, program pengelolaan limbah radioaktif, dan sistem manajemen. Sehingga dalam revisi perka tidak akan diatur lagi mengenai hal-hal tersebut.

### III.3 Organisasi

Bagian ini berisi mengenai tanggung jawab organisasi yang terdiri atas manajer reaktor dan petugas instalasi dan bahan nuklir.

Manajer reaktor adalah personil reaktor yang bertanggung jawab langsung terhadap pengoperasian reaktor [5][6]. Terdapat perbedaan persepsi antara siapa yang dimaksud dengan manajer reaktor. Untuk reaktor RSG GA Siwabessy, manajer reaktor adalah kepala pusat. Sementara untuk 2 reaktor TRIGA, yang dimaksud manajer reaktor adalah kepala bagian reaktor. Perbedaan terjadi karena untuk kasus reaktor triga, kepala pusat tidak hanya membawahi reaktor tapi instalasi lainnya berbeda dengan kasus RSG Siwabessy. Hal ini masih dalam pembahasan lebih lanjut namun bagi BAPETEN yang penting adalah adanya semisal surat keputusan dari pemegang izin mengenai siapa yang dimaksud manajer reaktor untuk setiap reaktor tersebut. Dengan adanya surat keputusan tersebut maka akan jelas siapa manajer reaktor dan tanggung jawabnya.

Sementara itu yang dimaksud petugas instalasi dan bahan nuklir adalah supervisor reaktor, operator reaktor, teknisi perawatan reaktor, supervisor perawatan reaktor, pengurus inventori bahan nuklir, pengawas inventori bahan nuklir, dan petugas proteksi radiasi [7]. Adapun ketentuan mengenai kualifikasi dan kompetensi petugas instalasi dan bahan nuklir mengikuti Peraturan

Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir.

### III.4 Uji Fungsi Dan Kinerja

Bagian ini mengatur mengenai keharusan bagi pemegang izin untuk melaksanakan uji fungsi dan kinerja struktur, sistem, dan komponen reaktor nondaya yang berada dalam keadaan sebagai berikut:

1. reaktor nondaya akan kembali dioperasikan setelah berada dalam kondisi *shutdown* dalam jangka waktu lebih dari 2 (dua) tahun;
2. telah dilakukan *upgrading* dan *uprating* daya;
3. telah dilakukan penggantian tipe bahan bakar nuklir;
4. telah dilakukan modifikasi struktur, sistem dan/atau komponen selain penggantian tipe bahan bakar nuklir;
5. peralatan eksperimen yang terkait keselamatan tidak dioperasikan dalam waktu lebih dari 2 (dua) tahun; dan
6. telah dilakukan penggantian struktur, sistem dan/atau komponen dengan struktur, sistem dan/atau komponen baru yang belum teruji dan/atau tersertifikasi.

### III.5 Sistem Manajemen

Bagian ini akan mengatur mengenai sistem manajemen operasi reaktor nondaya. Termasuk mengenai penyusunan prosedur-prosedur operasi, pelaporan, dan perekaman.

Prosedur yang diperlukan paling sedikit yaitu prosedur persiapan sarana operasi, prosedur operasi pada kondisi normal, prosedur pemuatan, pengeluaran, perpindahan bahan bakar nuklir, reflektor, komponen teras, dan peralatan eksperimen, serta prosedur operasi sistem pendukung.

Selain itu diatur pula mengenai ketentuan mengenai penjadwalan operasi. Pemegang izin harus menyusun dan menetapkan jadwal pengoperasian, perawatan, dan pengisian ulang bahan bakar nuklir selama 1 tahun

Untuk penyusunan laporan operasi rutin yang dilaporkan secara berkala paling lambat 2 (dua) bulan setelah akhir setiap triwulan atau 2 (dua) bulan setelah akhir siklus operasi reaktor diberikan panduan tentang format dan isi laporan.

### III.6 Ketentuan Penutup

Bagian ini berisi mengenai keberlakuan perkanya dan pencabutan perka yang terdahulu.

### III.7 Lampiran

Pada lampiran berisi format dan contoh isi laporan operasi. Kerangka format dan contoh isi mengikuti pedoman penyusunan laporan operasi yang disusun oleh Direktorat Inspeksi Instalasi Dan Bahan Nuklir (DIIBN) BAPETEN. laporan seperti yang disampaikan pada Tabel 3[8].

**Tabel 3.** Kerangka Format Laporan

BAB	Judul
I.	PENDAHULUAN
II.	DATA OPERASI
III.	DATA BAHAN BAKAR NUKLIR
IV.	PERAWATAN STRUKTUR, SISTEM DAN KOMPONEN
V.	PROTEKSI RADIASI
VI.	DATA LIMBAH
VII.	KESIAPSIAGAAN NUKLIR
VIII.	LAIN-LAIN
IX.	KESIMPULAN

### IV. KESIMPULAN

Perka 2/2011 telah lebih dari 5 tahun dan sudah saatnya dikaji ulang untuk kemampuserapannya. Harmonisasi dengan beberapa peraturan baik peraturan pemerintah maupun peraturan kepala BAPETEN lainnya yang bersinggungan dalam lingkup pengaturannya dengan Perka 2/2011 menjadi salah satu alasan untuk revisi.

Proses harmonisasi dengan peraturan lain dan koordinasi dengan pihak terkait menjadi target pencapaian peraturan yang lebih mampu terap.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Dr Yudi Pramono, M.Eng, atas waktu dan bimbingannya untuk penulisan makalah ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (2011) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya
- [2] Republik Indonesia (2006) Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2006 tentang Perizinan Reaktor Nuklir
- [3] Isnaeni, A., & Nugroho, A. T. (2016). *Tinjauan Penerapan Perka 2/2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya*, Jakarta: Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN.
- [4] Republik Indonesia (2012) Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir
- [5] IAEA, *Safety of Research Reactors (SSR-3)*, 2016
- [6] Republik Indonesia (2011) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2011 tentang Ketentuan Perawatan Reaktor Nondaya
- [7] Republik Indonesia (2013) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir
- [8] DIIBN BAPETEN (2010), *Pedoman Penyusunan Laporan Operasi Reaktor Non Daya*,



## TINJAUAN PENERAPAN ASPEK KESELAMATAN PADA INSTALASI ELEMEN BAHAN BAKAR EKSPERIMENTAL BERDASAR IAEA-TECDOC 1221

**Nudia Barenzani, Sjafruddin**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN

email: [nudia@batan.go.id](mailto:nudia@batan.go.id); [sjaf2841@gmail.com](mailto:sjaf2841@gmail.com)

### ABSTRAK

Suatu tinjauan terhadap penerapan aspek keselamatan di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) telah dilakukan. Tujuan tinjauan ini adalah untuk mengetahui sejauh mana aspek keselamatan tersebut diterapkan dalam operasional IEBE. Tinjauan didasari pada dokumen IAEA TECDOC – 1221 dan dibandingkan dengan penerapan yang telah dilakukan di IEBE. Hasil tinjauan memperlihatkan bahwa operasional IEBE telah mempertimbangkan sembilan aspek keselamatan, yaitu aspek: kekritisitas, radiasi, kimiawi, kebakaran dan ledakan, *effluents*, pemeliharaan, manajemen modifikasi, faktor manusia dan pertimbangan lingkungan. Satu hal yang spesifik dari pengoperasian IEBE adalah bahwa aspek kekritisitas tidak kredibel, karena masih menggunakan U-alam walaupun telah didesain mampu untuk menggunakan U-diperkaya sampai 5%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa aspek keselamatan dalam dokumen acuan tersebut telah dipenuhi dalam operasional IEBE.

**Kata Kunci** : IEBE, aspek keselamatan, IAEA-TECDOC-1221.

### ABSTRACT

*Review of the implementation of safety aspects in the Experimental Fuel Element Installation (EFEI) has been done. The objective is to find out how far the safety aspects were concerned in operational of EFEI. The review is based on the IAEA document, TECDOC-1221 to be compared with the implementation of safety aspects in the EFEI. The result shows that the EFEI operations have considered all of aspects of safety, namely: criticality, radiation, chemistry, fire and explosion, effluents, maintenance, modification management, human factors and environmental considerations. One of specific features of the EFEI operation is that the criticality aspect which is not credible because the installation uses natural uranium although it has been designed to be able to use U-enriched to 5%. Thus, the safety aspects of The EFEI operations have been met with the reference document.*

**Keywords**: EFEI, safety aspects, IAEA-TECDOC-1221.

## I. PENDAHULUAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) merupakan salah satu instalasi nuklir non reaktor (INNR) dalam manajemen Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Instalasi ini dioperasikan dan dimanfaatkan untuk penelitian dan pengembangan (litbang) bahan bakar reaktor daya, bahkan IEBE didesain dalam skala produksi. Dalam pengoperasiannya dapat menimbulkan berbagai potensi bahaya, baik potensi bahaya nuklir (radiologi) maupun non nuklir. Potensi bahaya nuklir terjadi karena operasional IEBE menangani zat radioaktif/ bahan nuklir dalam jumlah besar dan berbagai bentuk fisika. Dalam proses litbang dan produksi bahan bakar nuklir, digunakan juga bahan-bahan kimia yang bersifat racun, korosif, dapat meledak/terbakar sehingga berpotensi terhadap bahaya non nuklir. Bila potensi-potensi bahaya tersebut tidak diantisipasi atau dikendalikan, dapat menimbulkan dampak merugikan bagi para pekerja radiasi (personil), daerah kerja di instalasi, masyarakat, dan lingkungan.

IEBE didesain untuk memproduksi bahan bakar nuklir jenis *Pressured Heavy Water Reactor* (PHWR-Cirene). Dalam kegiatannya IEBE dapat menangani

bahan nuklir uranium (U) alam maupun U-diperkaya sampai 5%. Berbagai proses kimiawi dilakukan di IEBE untuk membuat bahan bakar nuklir dari bahan mentah (*Yellow Cake*). Proses konversi *Yellow Cake* menjadi  $UO_2$  yang dilaksanakan di *Pilot Conversion Plant* (PCP) dapat memproses sekitar 100 kg U per hari menggunakan bahan kimia seperti TBP-Kerosin dan  $HNO_3$  pekat, dll. Bahan-bahan kimia tersebut bersifat mudah terbakar, korosif dan iritasi pada tubuh manusia. Proses pembuatan pellet U dari serbuk  $UO_2$  di *Fuel Fabrication Laboratory* (FFL) menggunakan tungku sinter dan proses pengolahan gagal menggunakan tungku kalsinasi-reduksi dimana keduanya memerlukan gas hidrogen yang bersifat mudah meledak jika bercampur dengan oksigen (udara) pada tingkat/konsentrasi tertentu. Pada proses perakitan bahan bakar nuklir juga digunakan bahan berilium yang bersifat racun bagi pekerja radiasi. Untuk proses uji kualitas produk antara di *Quality Control Laboratory* (QCL) juga digunakan bahan kimia berbahaya seperti  $NH_4OH$ , etanol,  $H_2SO_4$ , dll. Proses-proses inilah yang dapat menimbulkan potensi bahaya yang bersifat non nuklir, namun karena bahan kimia

tersebut bercampur dengan bahan radioaktif (U), maka dapat memicu terjadinya kedaruratan radiologi.

Potensi bahaya yang tidak dapat dihilangkan (*inherent*) dalam penanganan zat radioaktif/bahan nuklir adalah adanya bahaya terhadap radiasi pengion. Bahan nuklir U sebagai bahan utama dalam litbang dan produksi bahan bakar nuklir memancarkan radiasi- $\gamma$  dan radiasi- $\alpha$  yang dapat menyebabkan bahaya pada pekerja radiasi. Penanganan bahan U dalam jumlah besar akan menimbulkan potensi penyinaran radiasi- $\gamma$  sebagai bahaya radiasi eksternal. Sedangkan radiasi- $\alpha$  yang mempunyai daya ionisasi nuklir paling tinggi dari radiasi nuklir, berpotensi terhadap bahaya radiasi interna bila ada kontaminan U yang masuk ke dalam tubuh pekerja radiasi. Proses penanganan bahan U yang berbentuk serbuk sangat berpotensi terhadap bahaya radiasi interna akibat adanya proses-proses yang menimbulkan kontaminasi, baik kontaminasi pada permukaan, udara maupun kulit tubuh pekerja radiasi. Potensi bahaya radiasi yang lebih parah dapat terjadi bilamana bahan U (bahan fisil) dapat mencapai kondisi reaksi nuklir berantai atau dikenal sebagai kecelakaan kekritisan nuklir. Jika hal ini terjadi di INNR seperti IEBE, maka radiasi sangat tinggi dan mendadak akan menyinari daerah kerja dan pekerja radiasi di sekitar bahan yang kritis tanpa adanya perisai yang signifikan [1,2]

Sehubungan dengan adanya potensi bahaya dalam operasional INNR pada fasilitas siklus bahan bakar nuklir, badan dunia bidang nuklir (*International Atomic Energy Agency/IAEA*) telah menerbitkan berbagai dokumen terkait dengan keselamatan dalam bentuk regulasi dan panduan yang dapat menjadi acuan dalam pengoperasian instalasi nuklir bukan fasilitas seperti reaktor nuklir, salah satunya adalah TECDOC-1221: *Regulation and Safety for Nuclear Fuel Cycle Facilities* [3]. Dokumen ini memuat persyaratan terkait aspek keselamatan yang harus diterapkan dalam pengoperasian suatu INNR dalam siklus bahan bakar nuklir.

Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian terhadap aspek keselamatan yang tertuang pada TECDOC-1221 dengan penerapannya dalam operasional IEBE. Dengan demikian dapat diketahui permasalahan yang bisa menimbulkan potensi bahaya sehingga dapat mengantisipasi terjadinya kecelakaan dan mengurangi dampak yang ditimbulkan jika kondisi darurat terjadi. Jadi permasalahan yang teridentifikasi bisa menjadi perhatian pihak manajemen PTBBN dalam menjamin keselamatan operasional IEBE.

## II. METODE

Melakukan perbandingan terkait dengan aspek keselamatan terhadap operasional INNR pada siklus bahan bakar nuklir dan implementasi sistem keselamatan baik teknis maupun administratif yang dilaksanakan di IEBE untuk memenuhi persyaratan keselamatan operasional, merupakan metoda yang digunakan untuk tulisan ini. TECDOC-1221: *Regulation and Safety for Nuclear Fuel Cycle Facilities* yang diterbitkan IAEA [3] menjadi acuan utama dalam pembahasan pokok masalah, kemudian diuraikan bagaimana manajemen PTBBN – BATAN

menanggapi dan melaksanakan pemenuhan yang berkaitan dengan aspek keselamatan di IEBE agar dampak buruk timbulnya bahaya dapat diantisipasi atau dikurangi. Dokumen IAEA tersebut memuat dan menjelaskan secara umum tentang aspek-aspek keselamatan yang pasti ada dalam kegiatan operasional INNR, antara lain: (1) kritikalitas; (2) radiasi; (3) bahaya-bahaya kimiawi; (4) kebakaran dan ledakan; (5) *effluents* (hasil pembuangan); (6) perawatan; (7) manajemen modifikasi; (8) faktor-faktor manusia dan (9) pertimbangan terhadap lingkungan.[3]

Kemudian diuraikan bagaimana manajemen PTBBN-BATAN melaksanakan untuk memenuhi persyaratan terkait aspek-aspek keselamatan tersebut dalam mengoperasikan IEBE.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut dokumen IAEA, TECDOC-1221: *Regulation and Safety for Nuclear Fuel Cycle Facilities* [3], ada sembilan aspek keselamatan yang harus diperhatikan dalam operasional INNR pada fasilitas siklus bahan bakar nuklir. Ada banyak jenis INNR dalam siklus tersebut, di antaranya adalah fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir seperti IEBE. Setiap jenis INNR dapat berbeda potensi bahayanya yang sangat bergantung pada proses-proses yang dilakukan, namun secara umum kesembilan aspek keselamatan tersebut dominan muncul dalam operasional INNR. Berikut ini dibahas bagaimana manajemen PTBBN-BATAN melaksanakan kesembilan aspek keselamatan tersebut.

### 1. Aspek keselamatan kritikalitas

Fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir seperti IEBE telah mempertimbangkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kekritisan nuklir akibat dari penanganan bahan fisil. IEBE yang didesain untuk dapat menangani bahan U-diperkaya telah mengantisipasi adanya potensi bahaya kekritisan dengan cara merancang wadah-wadah pemroses bahan fisil yang selamat berdasarkan pertimbangan parameter kekritisan bahan fisil seperti: geometri, massa, konsentrasi, jarak, adanya bahan moderator dan reflektor dalam proses, serta tersedianya bahan racun neutron. Untuk mencegah terjadinya bahaya paparan radiasi yang masif pada saat terjadi kecelakaan kekritisan, di IEBE telah terpasang alat pemantau kecelakaan kekritisan di ruangan yang berpotensi tercapainya kondisi kekritisan nuklir, seperti di FFL. Namun demikian, masalah kekritisan nuklir saat ini tidak dianggap sebagai hal penting karena operasional IEBE masih menggunakan U-alam dalam kegiatan litbang. Secara teori U-alam tidak mungkin mencapai kondisi kekritisan nuklir [4, 5]. Kekritisan nuklir seperti di fasilitas reaktor PHWR yang menggunakan U-alam tidak terdapat di IEBE karena lingkungan bahan nuklir tidak ada seperti pada PHWR.

Bilamana digunakan U-diperkaya di IEBE, maka hal yang berkaitan dengan keselamatan kekritisan harus menjadi perhatian, misal pembatasan massa kritis. Sebagaimana teori yang menyatakan bahwa kekritisan nuklir hanya dapat terjadi bila menggunakan U-diperkaya dalam kuantitas besar,

sedangkan di IEBE saat ini hanya menangani U-diperkaya dalam jumlah massa kecil (dalam orde gram) untuk penelitian. Sebagai contoh, U-diperkaya sampai 93, 5% dalam bentuk metal dapat kritis pada massa 46 kg [6].

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek keselamatan kekritisitas di IEBE, tidak ada kesenjangan/ ketidak-sesuaian dengan TECDOC-1221.

## 2. Aspek keselamatan radiasi

Aspek bahaya terhadap radiasi dalam operasional INNR merupakan potensi yang tidak dapat dihindarkan karena menggunakan zat radioaktif/bahan nuklir sebagai kegiatan utamanya. Di IEBE dilakukan proses penanganan bahan U yang mana kegiatannya berpotensi menimbulkan bahaya paparan radiasi eksternal dan internal. Radiasi- $\gamma$  yang dipancarkan dari bahan U akan menyinari tubuh pekerja radiasi (radiasi eksternal) dan proses-proses penanganan bahan U yang menimbulkan kontaminasi, kontaminan dapat masuk ke dalam tubuh pekerja radiasi (radiasi internal) melalui pernafasan, pencernaan dan kulit yang terluka. Untukantisipasi terhadap potensi bahaya radiasi tersebut, telah dilakukan upaya-upaya proteksi radiasi, baik secara desain yang diterapkan saat pembangunan instalasi, maupun secara administratif seperti upaya-upaya tersebut di bawah ini.

IEBE dirancang dengan mempertimbangkan aspek keselamatan terhadap bahaya radiasi, khususnya bahaya radiasi internal (kontaminasi). Untuk itu pemrosesan bahan U yang berpotensi menimbulkan kontaminasi dilakukan dalam wadah tertutup seperti glove box dan fume hood. IEBE juga didesain menggunakan sistem ventilasi aktif bertekanan negatif dan pembagian daerah kerja agar kontaminasi dapat terkendali. Dalam operasional IEBE, dilakukan kegiatan-kegiatan yang terkait dengan keselamatan radiasi instalasi, seperti: pemantauan paparan radiasi, pemantauan kontaminasi daerah kerja dan pemantauan dosis radiasi personal (eksterna dan interna).[7]

Secara administratif, untuk tujuan proteksi radiasi dalam operasional IEBE diterapkan aturan keselamatan seperti: penggunaan alat pelindung diri (baju/sepatu kerja, masker, sarung tangan, google, dsb.) ketika melaksanakan pekerjaan, kepatuhan terhadap batasan-batasan keselamatan (nilai batas dosis, maximum permissible concentration, dose constraints, dsb), pembatasan akses masuk daerah kerja dan lainnya. Manajemen PTBBN-BATAN membentuk organisasi proteksi radiasi yang personilnya sudah terqualifikasi agar ada pengawasan internal terhadap praktek-praktek keselamatan sehingga tujuan keselamatan radiasi tercapai. Sebagai tanggungjawab manajemen, setiap personil yang akan bertugas dan berpotensi menerima konsekuensi bahaya radiasi, diberikan pelatihan atau pengetahuan tentang proteksi radiasi.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek keselamatan radiasi di IEBE, hal-hal yang tercantum dalam TECDOC-1221 sudah terpenuhi dan diterapkan dengan baik.

## 3. Aspek bahaya bahan kimia

Untuk proses pembuatan bahan bakar nuklir dari bahan mentah *Yellow Cake* menjadi berkas bahan bakar nuklir, digunakan bahan-bahan kimia bersifat berbahaya dan beracun. Sesuai dengan prosedur, untuk proses konversi bahan mentah *Yellow Cake* menjadi bahan  $UO_2$  digunakan bahan kimia TBP-Kerosin dan  $HNO_3$  yang bersifat mudah terbakar, korosif dan iritasi. Dalam mengantisipasi bahaya yang dapat timbul oleh bahan-bahan kimia tersebut, personil harus mengenali sifat-sifat bahan dan cara penanggulangannya apabila terjadi kondisi abnormal seperti yang tertera pada informasi keselamatan bahan (Material Safety Data Sheet, MSDS). Bahan-bahan kimia berbahaya tersebut disimpan di lokasi khusus yang diatur berdasarkan klasifikasi sifat bahan (bahan mudah terbakar, bahan korosif, mudah menguap dsb). Pengaturan bahan-bahan kimia berbahaya juga meliputi jumlah bahan, masa pakai bahan (kadaluarsa), penandaan dengan tag dsb.

Agar pelaksanaan proses berlangsung selamat, setiap kegiatan harus dilakukan suatu analisis keselamatan proses dengan membuat Hazard Identification Risk Assessment Determination of Control (HIRADC). Setiap langkah kerja memperhatikan potensi bahaya yang tercantum di dokumen HIRADC.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek keselamatan bahaya bahan kimia di IEBE, masih ada kesenjangan minor dalam hal belum adanya pemantauan gas-gas yang dilepas dari bahan kimia. Pada saat ini pihak manajemen PTBBN sedang mengusahakan penyelesaian potensi bahaya ini bekerjasama dengan pihak luar.

## 4. Aspek bahaya kebakaran dan ledakan

Adanya proses yang menggunakan bahan kimia yang mudah terbakar dan dapat menimbulkan ledakan, maka dalam operasional IEBE juga telah mengantisipasi bahaya tersebut dengan menyediakan sistem deteksi kebakaran yang dilengkapi dengan alarm. Lokasi proses yang menggunakan bahan kimia mudah terbakar diupayakan agar jauh dari sumber api atau panas, dan tersedia alat pemadam api ringan (APAR) yang sesuai dengan spesifikasinya di lokasi yang berpotensi bahaya kebakaran.

Proses sintering dan kalsinasi-reduksi pada tungku menggunakan gas hidrogen yang mudah meledak jika bercampur dengan gas oksigen di udara pada konsentrasi tertentu. Untuk antisipasi potensi bahaya ledakan dari penggunaan gas hidrogen, setiap tungku sudah didesain agar tidak terjadi kontak langsung antara gas hidrogen dan gas oksigen (udara).

Dalam proses reduksi serbuk  $U_3O_8$  menjadi  $UO_2$ , mekanisme proses dilakukan dengan cara mengatur beda tekanan dalam tungku lebih besar daripada tekanan udara luar agar mencegah masuknya udara luar masuk ke dalam tungku (untuk mencegah terjadinya ledakan didalam tungku). Tungku dibilas dengan gas nitrogen untuk mengusir udara di dalam tungku. Kemudian dialirkan gas hidrogen sehingga tidak ada kontak antara udara luar (oksigen) dengan hidrogen. Batasan Keselamatan (BK) pengaliran gas hidrogen hanya boleh dilakukan bila suhu tungku  $\geq 600$  oC mencegah terjadinya self combustion gas hidrogen

yang dapat terjadi pada suhu 530-590 oC. Hidrogen yang keluar dari tungku segera dibakar agar hilang/habis. Proses serupa juga berlaku untuk penggunaan tungku sinter.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek keselamatan bahaya kebakaran di IEBE, masih terdapat kesenjangan minor dalam hal terjadinya proses penuaan kabel-kabel listrik. Sebagai contoh, manajemen PTBBN sedang menyusun program manajemen penuaan untuk mengidentifikasi komponen listrik yang perlu diremajakan. Adapun terhadap aspek bahaya ledakan tidak ditemukan kesenjangan antara TECDOC-1221 dengan penerapannya di IEBE.

#### 5. Aspek timbulnya *Effluents*

Produk samping dari pengoperasian INNR seperti IEBE adalah terbentuknya limbah radioaktif yang bercampur dengan limbah kimia. Limbah radioaktif dapat berupa limbah padat, cair dan aerosol. Limbah tersebut terjadi akibat adanya kontaminan U yang melekat atau bercampur dengan bahan lain yang tidak dapat digunakan lagi. Pengelolaan limbah radioaktif padat dan cair yang dilakukan di IEBE adalah dengan cara penampungan sementara dan kemudian dikirim ke Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR). Manajemen PTBBN menerapkan kebijakan “*zero release*” ke lingkungan terhadap *effluent*, khususnya dalam bentuk limbah radioaktif cair dan padat. Sedangkan *effluent* berupa limbah radioaktif aerosol dilakukan dengan cara menyaring udara yang keluar dari instalasi menggunakan filter High Efficiency Particulate Absorben (HEPA) sebelum dilepas ke lingkungan. Filter yang terkontaminasi partikulat radioaktif diperlakukan sebagai limbah radioaktif padat. [8][9]

Untuk menjamin tidak terjadi pencemaran keradioaktifan ke lingkungan melalui cerobong udara instalasi, di IEBE dipasang alat pemantau keradioaktifan udara yang dapat memantau secara kontinyu selama operasi berlangsung. Alat ini dilengkapi dengan detektor radiasi- $\alpha$  dan dapat memberikan peringatan dini (alarm) jika batasan keselamatan terlampaui.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek timbulnya effluent di IEBE, masih terdapat kesenjangan dalam pengelolaan limbah cair yang mengandung U yang belum dapat dijadikan limbah karena masih dalam pengawasan seifgard. Limbah tersebut masih terakumulasi dalam jerigen plastik dan mengeluarkan bau/ gas yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan. Sedangkan aspek lain terkait hal ini tidak ditemukan kesenjangan antara TECDOC-1221 dengan penerapannya di IEBE.

#### 6. Aspek pemeliharaan

Operasional peralatan yang kontinyu dan faktor penuaan peralatan dapat memberikan kontribusi terhadap situasi abnormal instalasi nuklir. Oleh sebab itu diperlukan suatu pemeliharaan terhadap peralatan yang digunakan, khususnya peralatan yang terkait langsung dengan masalah keselamatan (misal: struktur, sistem dan komponen (SSK) kelas-I yang terkait dengan zat radioaktif/bahan nuklir). Pemeliharaan

diperlukan untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau mengurangi dampak apabila terjadi kecelakaan.

Di IEBE program pemeliharaan terhadap peralatan meliputi kegiatan perbaikan, pencegahan, pengawasan dan pemantauan kinerja alat, serta pengujian fungsi (termasuk kalibrasi). Untuk kegiatan perbaikan diawali dengan dilakukan pemahaman terhadap deskripsi peralatan yang akan diperbaiki, pendekatan metoda perbaikan yang dipilih (ditentukan) dan membuat rencana serta penerapannya agar dapat mengurangi dan mencegah terulangnya kesalahan. Tindakan pencegahan dilakukan dengan cara pembaharuan peralatan secara berkala dan terjadwal seperti kalibrasi dan pengujian peralatan. Pengawasan dan pemantauan kinerja alat dilakukan dengan mengimplementasikan suatu program untuk menginspeksi kinerja peralatan. Pengujian fungsi setelah pemeliharaan dapat memberikan jaminan bahwa operasional dari peralatan tidak memberikan dampak yang merugikan terhadap kehandalan peralatan. Hasil uji fungsi didokumentasikan dengan baik sehingga dapat tertelusur.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek pemeliharaan di IEBE, masih terdapat kesenjangan dalam hal terjadinya proses penuaan peralatan proses. Pada saat ini manajemen PTBBN sedang menyusun program manajemen penuaan untuk mengidentifikasi SSK yang perlu diperbaiki, diganti atau dimodifikasi.

#### 7. Manajemen modifikasi

Operasional INNR pada umumnya tidak seperti operasional suatu reaktor nuklir yang berlangsung tetap. Perubahan-perubahan dalam desain dan operasional INNR diperlukan untuk berbagai alasan seperti: keperluan peningkatan produksi, peningkatan kualitas produk, penanganan dengan menggunakan bahan baku yang berbeda dengan desain awal dan menata ulang fasilitas untuk memenuhi persyaratan-persyaratan baru dari regulator. Perubahan dapat lebih sering bilamana INNR berfungsi juga sebagai fasilitas untuk keperluan kegiatan litbang seperti IEBE. Oleh sebab itu suatu modifikasi dapat dilakukan, baik terhadap proses, sistem dan peralatan serta prosedur yang akan digunakan dalam kegiatan. Dengan adanya modifikasi ini, akan berdampak juga terhadap program pelatihan dan kualifikasi personil, program pemeliharaan, komisioning dari sistem yang baru (hasil modifikasi) dan lainnya.

Pengalaman operasional IEBE selama ini tidak banyak modifikasi yang dilakukan untuk hal yang berkaitan secara langsung dengan proses utama. Modifikasi kegiatan menggunakan bahan thorium (Th) dilakukan dengan jumlah massa skala laboratorium sehingga tidak mengganggu proses utama untuk memroses bahan U. Untuk menempelkan bahan “spacer” pada kelongsong zirkaloi yang menggunakan bahan beracun berilium dimodifikasi dengan menggunakan las tig sehingga potensi bahaya bahan beracun dapat dihilangkan. Modifikasi lain pernah dilakukan di IEBE hanya terkait dengan operasioanal sistem ventilasi (pendingin udara) dan sistem keselamatan (peralatan pemantau effluent udara) pada cerobong IEBE.

Bila kegiatan modifikasi dilakukan, prosedur modifikasi dimulai dari perencanaan, desain rekayasa, pelaksanaan, uji fungsi pasca modifikasi, kalibrasi, evaluasi, kontrol kualitas, prosedur perawatan, pelatihan, kualifikasi personil dan pendistribusian kerja serta mendokumentasikan hal modifikasi tersebut. Kegiatan modifikasi juga mempertimbangkan adanya potensi bahaya yang dapat timbul akibat perubahan tersebut. Pengalaman dari fasilitas lain menjadi bahan pertimbangan sebelum melaksanakan modifikasi. Selesai modifikasi diharuskan melakukan anamdememen LAK sesuai aturan badan regulasi.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek manajemen modifikasi di IEBE, tidak ada kesenjangan dengan TECDOC-1221. Semua prosedur manajemen modifikasi telah dilakukan berdasarkan pengalaman beberapa kali pelaksanaan modifikasi di IEBE.

#### 8. Aspek faktor-faktor manusia

Pada banyak kasus kecelakaan, faktor kesalahan manusia (*human error*) merupakan hal yang dominan akibat hubungan langsung antara manusia dengan mesin/peralatan yang digunakan (*man-machine interface*) tidak sesuai, sehingga faktor tersebut perlu menjadi perhatian manajemen dalam operasional IEBE. Oleh sebab itu setiap peralatan dan tempat kerja di IEBE diupayakan agar personil dapat bekerja dengan nyaman (*ergonomic factor*).

Manajemen PTBBN telah berkomitmen untuk selalu meningkatkan pengetahuan, keterampilan dan merubah perilaku personil menjadi lebih baik. Program pelatihan dalam dan luar negeri, workshop, studi banding, budaya keselamatan dan keamanan yang terkait dengan sumber daya manusia dilaksanakan secara terjadwal. Personil yang mengoperasikan peralatan yang berpotensi bahaya harus telah teruji dan bersertifikat (surat izin bekerja) dari badan regulator terkait.

Pengalaman kecelakaan atau kejadian abnormal (*nearmiss*) selalu dilaporkan dan diselidiki agar menjadi pembelajaran sehingga tidak terulang. Pengalaman di fasilitas lain yang terkait dengan keselamatan juga menjadi perhatian dalam operasional IEBE.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek faktor manusia yang mengoperasikan IEBE, ada kesenjangan terhadap alih pengetahuan antara pegawai senior dengan junior. Peralihan generasi pegawai terlalu besar akibat dari banyaknya pegawai yang akan dan sudah pensiun daripada yang diterima. Kondisi ini diatasi dengan melakukan kegiatan alih pengetahuan secara intensif, misal coaching, pelatihan selingkung, *sharing knowledge*, workshop dan sebagainya.

#### 9. Pertimbangan lingkungan

Pada saat pembangunan IEBE telah mempertimbangkan daya dukung alam (lingkungan) di sekitarnya. Suatu dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) telah dibuat dan operasional IEBE tidak mengganggu lingkungan. Pada saat operasi, monitoring terhadap udara buang yang melewati cerobong dilakukan secara berkesinambungan dengan alat *alpha beta sample counter*. Kebijakan “zero

*release*” yang diterapkan manajemen PTBBN dalam operasional IEBE berupa tidak membuang limbah ke lingkungan merupakan kebijakan yang mempertimbangkan lingkungan. Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir Serpong (PPIKSN) juga melakukan pemantauan lingkungan terhadap kemungkinan dampak operasional IEBE (termasuk masalah kesehatan masyarakat) terutama akibat adanya fasilitas nuklir selain IEBE di sekitar kawasan nuklir.

Dalam hal sosio-ekonomi, masyarakat dapat turut bekerja di fasilitas untuk meningkat perekonomian mereka. Wilayah dimana lokasi IEBE berada juga ikut berkembang namun tidak mengganggu operasional IEBE.

Berdasarkan penilaian terhadap penerapan aspek lingkungan di sekitar IEBE, tidak ada kesenjangan dengan TECDOC-1221. Hal ini karena tapak IEBE berada di area terisolasi dengan penduduk sekitar. Tidak pernah ada gangguan yang berarti selama operasional IEBE.

#### IV. KESIMPULAN

Manajemen PTBBN dalam mengoperasikan IEBE telah mempertimbangkan aspek keselamatan seperti yang tercantum dalam dokumen IAEA-TEC DOC-1221: *regulation and safety in nuclear fuel cycle facilities*. Hal tersebut dapat ditinjau dari pelaksanaan kegiatan selama operasional IEBE seperti yang diuraikan pada bagian hasil dan pembahasan. Dari kesembilan aspek keselamatan yang tercantum dalam dokumen tersebut, satu hal yang spesifik dari keselamatan adalah bahwa di IEBE tidak ada potensi bahaya kekritisasi nuklir karena operasional IEBE selama ini masih menggunakan U-alam. Walaupun ada kegiatan yang menggunakan U-diperkaya, massa U masih relatif sedikit dan dikerjakan dalam skala laboratorium. Adapun aspek-aspek keselamatan lainnya merupakan suatu hal yang umum dan berlaku untuk semua INNR di siklus bahan bakar nuklir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. PTBBN-BATAN, Laporan Analisis Keselamatan IEBE, Revisi ke-7, tahun 2012.
- [2]. U.S. DOE, DOE Standard Preparation Guide for U.S. Dept. of Energy Non Reactor Nuclear Facility Documented Safety Analyses, DOE-STD-3009-94, 2006
- [3]. IAEA, IAEA-TEC DOC 1221: *Safety of and regulations for nuclear fuel cycle facilities*, 2001
- [4]. R. A. Knief, Nuclear Criticality Safety: Theory and Practice, ANS, La Grange Park, Illinois, 1985.
- [5]. R. A. Knief, Nuclear Energy Technology, Hemisphere Publishing Corp. and McGraw-Hill Book Co., Washington D.C., 1981.
- [6]. IAEA, Manual on Safety Aspects of the Design and Equipment of Hot Laboratories, Safety Series No.30, IAEA, Vienna, 1981.
- [7]. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 11 Tahun 2007, tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor.

[8]. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013  
tentang Manajemen Limbah Radioaktif

[9]. Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001  
tentang Pengelolaan bahan berbahaya dan  
beracun.



## MANAJEMEN DESAIN DALAM PEMBANGUNAN INSTALASI NUKLIR

**Arifin Muhammad Susanto**

*Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN) BAPETEN*

e-mail: a.msusanto@bapeten.go.id; arifin.m.susanto@gmail.com

### ABSTRAK

Proses desain berlangsung dari jauh sebelum proses konstruksi dilaksanakan hingga masa operasi instalasi nuklir berlangsung. Proses desain terlingkup dalam alur hidup suatu proyek yang dimulai dari perencanaan, konsep desain, desain dasar, desain rinci, konstruksi dan pemeliharaan & operasi, dengan durasi proyek yang lama dan kuantitas informasi yang banyak sehingga memerlukan suatu manajemen informasi yang komprehensif. Proyek pembangunan instalasi nuklir syarat akan waktu, modal, informasi desain, dan sumber daya lainnya. Keterlibatan berbagai aspek ilmu dan bidang terkait menjadikan proyek pembangunan saling bersinggungan dalam antarmuka yang kompleks. Ketidakkuratan penanganan tersebut menjadikan muncul masalah antarlain keterlambatan proyek, biaya berlebih hingga masalah keselamatan. Manajemen desain menerapkan manajemen proyek, desain, strategi, dan teknik untuk mengendalikan proses kreatif, mendukung budaya kreatifitas dan membangun desain dan struktur organisasi. Pemanfaatan manajemen desain sangat penting terutama dalam proyek skala besar. Penulis memberikan gambaran secara umum tindakan yang diperlukan dalam aplikasi manajemen desain. Pengendalian informasi dan konfigurasi dari instalasi nuklir menjadi hal yang signifikan dalam suatu proyek kompleks, dengan berkembangnya waktu penggunaan perangkat manajemen desain menjadi hal yang lumrah.

**Kata kunci:** Desain Manajemen, Instalasi Nuklir, Kendali Informasi dan konfigurasi

### ABSTRACT

*Design process involves from early stage of construction until operation and maintenance of nuclear installation. The design process is enveloped in project management lifecycle which consists of planning, design concept, basic design, rinci design, construction until maintenance and operation stage and involve long duration and massive information of nuclear installation configuration therefore comprehensive information management is required. Nuclear installation construction project engages high capacity of cost, resources as well as design information involvement. Multi discipline and knowledge induced on construction project is addressing to complex interfaces of the project. Un-accuracy of management is leading to typical project issue such as delay, over budget even safety matters. Design management approach is essential for large scale project. Author presents an overview action of design management application on this paper. The Design management is applying project management, design, strategic, and creativity process control technics, support and cultivate design as well as organization structural. Configuration and information control of nuclear installation are essential in complex project, nowadays, a perangkat of design management is common to be utilized.*

**Keywords:** Design Management, Nuclear Installation, Configuration and Information Control

## I. PENDAHULUAN

Pembangunan instalasi nuklir adalah suatu proyek dengan tingkat kompleksitas tinggi dan antarmuka antara masing-masing organisasi yang sangat padat maka diperlukan suatu alat (berupa *perangkat* atau *system*) yang dapat mengendalikan/merekam seluruh informasi desain, modifikasi struktur sistem dan komponen (SSK), dan *rules & responsibility* dari organisasi proyek instalasi nuklir.

Informasi yang dikendalikan dimulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan dan operasi instalasi. Umumnya informasi tercatat yang menjelaskan, menentukan, menyatakan, atau memberikan data atau hasil yang dibuat selama konstruksi, sebagai bagian dari informasi konfigurasi fasilitas, direncanakan dan diproses sehingga memudahkan bagi pihak operator atau pemilik untuk melanjutkan ke tahap komisioning

dan operasi. Informasi desain yang ada akan tetap terjaga sesuai dengan kondisi fisik di lapangan karena perubahan sedikitpun mengakibatkan ketidakkuratan desain yang ada.

Masalah muncul sebagai akibat dari sifat manusiawi dari manusia seperti faktor kecerobohan, kealpaan, dll., sehingga informasi yang disebarkan menjadi tidak akurat, dan terdistorsi. Informasi desain yang terdistorsi memberikan efek buruk bagi kelanjutan instalasi nuklir tersebut. Desain awal akan berbeda dari desain terbangun, sehingga diperlukan usaha ekstra dalam penelusuran dokumen-dokumen desain. Selain itu dokumen-dokumen desain dibuat tidak hanya oleh vendor atau desainer namun juga oleh kontraktor-kontraktor yang terkait. Kontraktor membangun berdasarkan desain yang ada, dan kadangkala

melakukan perubahan desain bilamana terjadi ketidaksesuaian dilapangan.

Menjadi penting dalam mengatur seluruh proses desain, rekaman-rekaman yang terjadi dilapangan sehingga mampu telusur, yaitu salah satunya dengan manajemen desain.

Manajemen desain sudah umum digunakan dalam proyek pembangunan gedung yang membutuhkan keakuratan pencatatan data dalam basis data desain yang sangat banyak. Dalam kaitan ini ada banyak pihak yang terkait seperti pendesain, kontraktor, konsultan, dan instansi pengawas terkait.

Manajemen desain adalah suatu cara dalam mengelola informasi desain yang beredar pada suatu proyek untuk tetap terjaga keakuratan dan kesesuaian dilapangan, perubahan-perubahan desain tetap terekam dari tahap awal bahkan hingga tahap operasi instalasi nuklir.

## II. POKOK BAHASAN

Manajemen desain diperlukan mengingat sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1, biaya pengembangan suatu produk sebagian besar ditentukan oleh desainnya. Banyak perusahaan atau vendor menyadari fakta ini dan memberikan perhatian yang lebih besar pada tahap-tahap awal proses desain [1].

Perubahan desain pada tahap awal tidak memakan biaya besar. Sejalan dengan semakin berlanjutnya tahap-tahap proses desain, kita dapat melihat bahwa biaya per tahap meningkat secara eksponensial [1].



Gambar 1. Perubahan Desain dalam Siklus Hidup Proyek [2]

Tahapan proses desain yang telah dilakukan dari fase konsep, desain dasar hingga desain rinci memerlukan durasi waktu yang panjang, tahapan alir desain dan proyek konstruksi ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2 dibawah berikut.

Durasi dan rentang waktu yang panjang dari tahapan proses desain yang disebutkan diatas menjadi suatu hambatan dalam konsistensi pencatatan/perekaman informasi desain dalam basis data yang rinci.

Keterlibatan masing-masing pihak dari tahapan awal proyek konstruksi yang berbeda hingga tahap *turn over* merupakan siklus proyek konstruksi yang ideal. Jaman dahulu pekerjaan dalam proyek desain dan rekayasa umumnya mengadopsi konsep *silos*. Masing masing yang terlibat hanya mengerjakan apa yang

disuruh/dipersyaratkan, tidak ada antarmuka atau koordinasi yang mampu meningkatkan efektifitas kinerjanya. Umum terjadi kesalahan dari satu instansi/bagian dalam pekerjaannya akibat kesalahan persepsi atau ketidakpahaman dalam mencerna informasi yang diberikan instansi/bagian lain, sehingga pekerjaan harus diulangi kembali dari awal yang tentunya membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga berdampak pada biaya (*cost*) yang tinggi.

Tabel 1. Siklus Proses Desain dan Proyek Konstruksi Tahap 1 & 2 [3]

Perencanaan	
Fase 1 Konsep	Fase 2 Pengembangan
1. Pengumpulan	1. Penunjukkan anggota tim kunci
2. Identifikasi kebutuhan	2. Kajian
3. Penetapan:	3. Pengembangan lingkup dasar
a. Tujuan	a. Produk akhir
b. Keekonomian	b. Standar kualitas
c. Kelayakan	c. Sumber daya
d. Stakeholder	d. Aktifitas
e. Tingkat resiko	4. Penetapan:
f. Strategi	a. Rencana utama
g. Tim	b. Bujet, anggaran
4. Estimasi sumber daya	c. Kebijakan Work Breakdown Structure
5. Identifikasi alternative	d. Prosedur
6. Proposal termutakhir	5. Kajian resiko
7. Pembuatan proposal untuk fase selanjutnya	6. Penyetaraan justifikasi
	7. Penjelasan proyek
	8. Mendapat persetujuan untuk memulai pekerjaan.

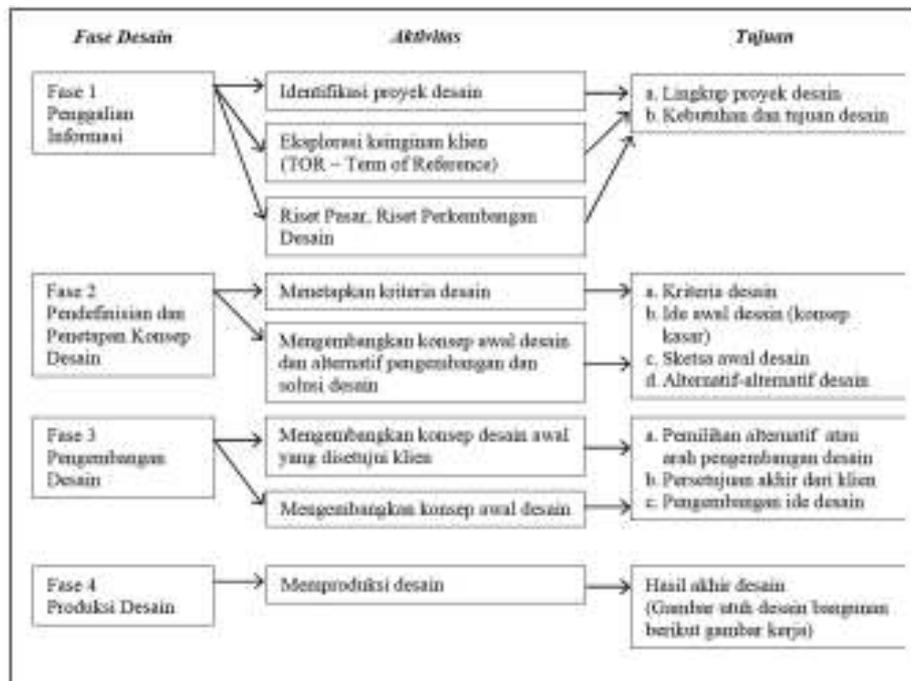
Tabel 2. Siklus Proses Desain dan Proyek Konstruksi Tahap 3 & 4 [3]

Penyelesaian	
Fase 3 Implementasi	Fase 2 Terminasi
1. Mempersiapkan	1. Penyelesaian produk
a. Organisasi	2. Rivi dan penerimaan
b. Komunikasi	3. Penetapan final A/C
2. Motivasi team	4. Pengalihan tanggung jawab
3. Persyaratan teknis rinci	5. Evaluasi proyek
4. Penetapan:	6. Dokumentasi hasil
a. Paket pekerjaan	7. Pelepasan dan pengaturan ulang sumber daya
b. Jadwal rinci	8. Penugasan tim
c. Sistem kendali informasi	
d. Prosedur dan kebijakan	
5. Pengadaan barang dan jasa	
6. Eksekusi paket pekerjaan	
7. Mengatur, pantau,	

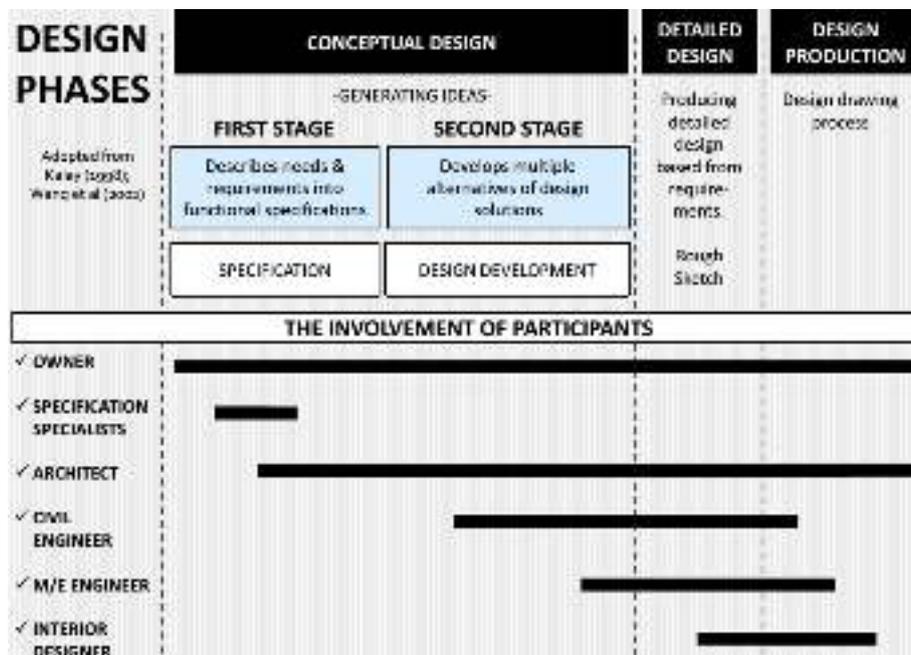
memprediksi, lingkup kendali, waktu, biaya, kualitas

8. Penyelesaian masalah

Aktivitas manajemen desain dan peranan masing-masing stakeholder sebagaimana ditunjukkan Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Aktivitas dan Tujuan dalam Desain [3]

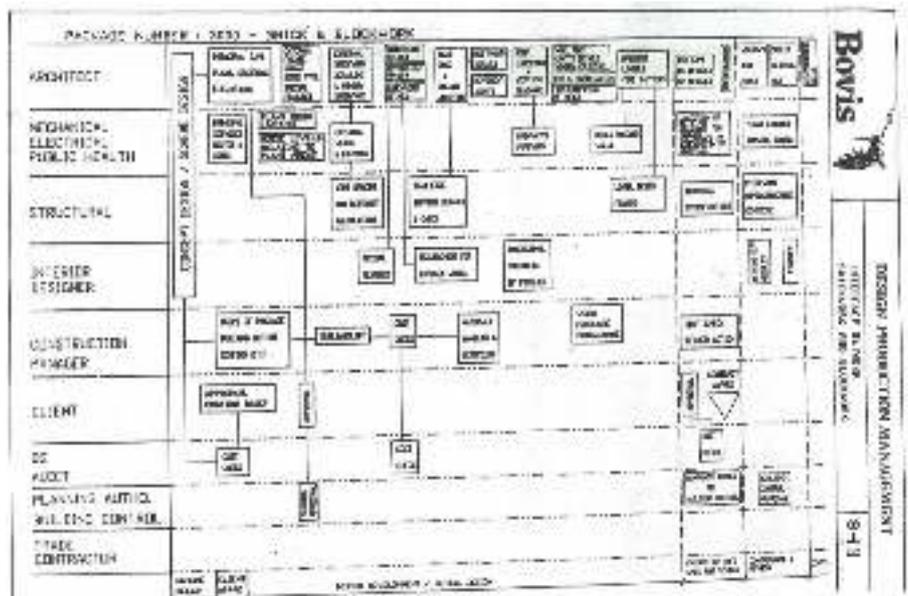


Gambar 3. Peranan Stakeholder dalam Partisipasi Desain [3]

Menjadi hal yang penting untuk masing-masing stakeholder proyek adalah masing-masing peranan dan tanggung jawab (*responsible & rules*) keterlibatan di proyek tersebut. Peranan dan tanggung jawab itu diatur dengan menggunakan suatu pengaturan komunikasi (*arrangement of communication*) yang baik. Pengaturan komunikasi yang berlaku umumnya memang hanya menggunakan pertemuan/meeting berkala antar pihak yang berwenang.

Gambar 4. dibawah adalah contoh yang menunjukkan garis komando masing-masing peranan dan tanggung jawab antar stakeholder.

Tanggung jawab masing-masing stakeholder dimulai dari awal hingga tahap pengalihan dari pihak proyek ke pihak operator atau yang biasa disebut pengalihan aset (*turnover*).



Gambar 4. Diagram Alir Antarmuka Peranan dan Tanggung Jawab Stakeholder Desain Proyek [4]

Untuk melancarkan pengalihan/*turnover* ke proses komisioning maka informasi konfigurasi fasilitas dibuat selama konstruksi, daftar berikut perlu dipertimbangkan [5]:

- Informasi apa yang diperlukan pada saat pengalihan (*turnover*)?
- Siapa yang akan menghasilkan informasi yang diperlukan?
- Bagaimana informasi dikirimkan (elektronik atau salinan kertas)?
- Waktu/periode informasi akan disampaikan (waktu dan frekuensi)?
- Siapa yang akan menerima informasi?
- Di mana akan informasi yang disimpan?
- Siapa yang bertanggung jawab atas pengelolaan informasi dan integritas?

Kendali catatan konstruksi ditetapkan pada awal program pembangunan untuk input ke dalam jadwal pelaksanaan aktivitas konstruksi.

Catatan konstruksi visual kondisi terbangun (*as-built*) disusun, dengan tujuan untuk memudahkan perencanaan kerja selama komisioning, operasi dan dekomisioning. Catatan-catatan tersebut antara lain informasi teknis terkait dan katalog yang disertai keterangan deskriptif. Hal ini akan memastikan bahwa rekaman visual yang dibuat selama inspeksi berikutnya atau pekerjaan pemeliharaan dapat dengan mudah dibandingkan, dan akan membantu dalam persiapan kerja.

#### KENDALI INFORMASI PADA KONFIGURASI FASILITAS

Perubahan yang terjadi dalam proses konstruksi akan diproses untuk menjaga kesesuaian antara persyaratan desain, konfigurasi fisik dan informasi konfigurasi fasilitas. Pihak regulator akan diberitahukan di mana perubahan konfigurasi berdampak pada desain dan dasar perizinan informasi yang disampaikan.

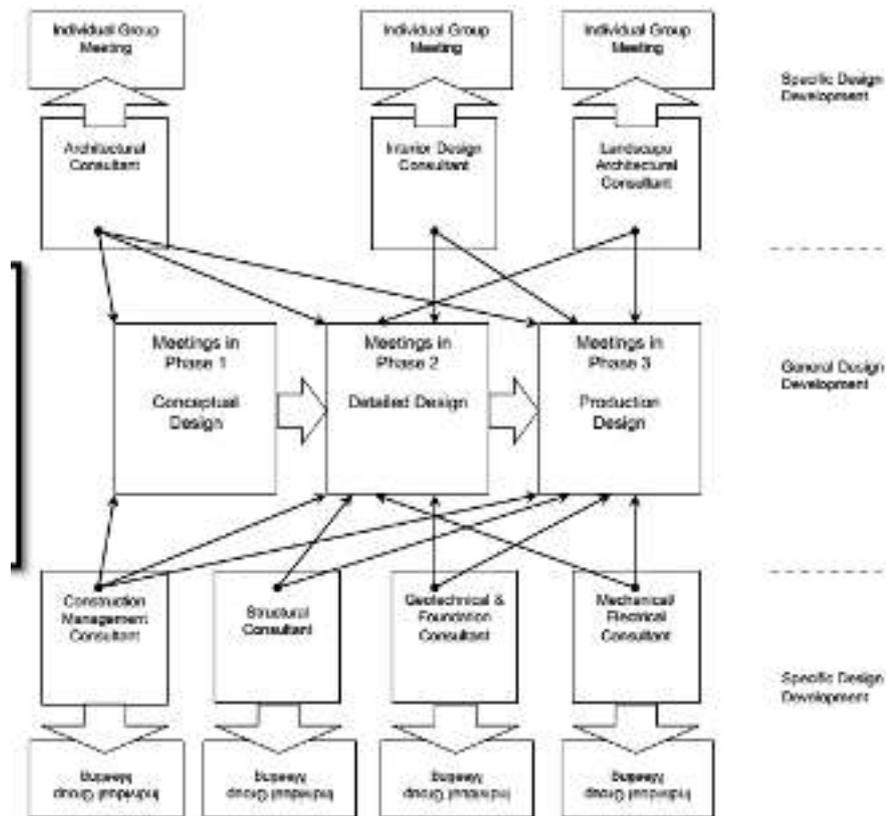
Umumnya permasalahan yang terjadi dalam kendali informasi desain adalah kurangnya informasi yang diterima oleh stakeholder pemegang keputusan dalam pengambilan keputusan untuk fase atau tahap berikutnya. Hal tersebut terjadi karena umumnya pertemuan itu terjadi secara sepihak, pihak desainer menggunakan wewenangnya untuk mengubah, tanpa informasi rekaman yang rinci, sehingga informasi yang diterima pihak lain akan bias atau tidak sesuai dengan permintaan pihak-pihak lain. Skema yang baik adalah sebagaimana ditunjukkan Gambar 5 dibawah.

Informasi yang diberikan harus lengkap, jelas dan tidak multi tafsir. Informasi dokumen tunggal harus tetap terjaga tidak tercampur dengan dokumen lain. Dokumen yang dibuat mencakup kondisi instalasi terkini dan kondisi yang dipersyaratkan. Termasuk persyaratan peraturan pada dokumen, secara umum antara lain sebagai berikut [6]:

1. Dokumen izin
2. Dokumen kualitas
3. Dokumen teknologi proses (dokumen metode konstruksi dll)
4. Dokumen organisasi

Semua mekanisme yang dapat menyebabkan perubahan sementara atau permanen dalam persyaratan desain, konfigurasi fisik dan fasilitas informasi konfigurasi dapat disebut manajemen konfigurasi. Contoh mekanisme perubahan meliputi [5]:

- a) perubahan desain
- b) perubahan medan
- c) ketidaksesuaian
- d) perubahan kondisi *as-built*
- e) perubahan sebagai-dibangun dokumentasi pengujian
- f) perubahan catatan pemeriksaan perdana
- g) perubahan perangkat lunak komputer
- h) perubahan catatan sejarah pemeliharaan
- i) modifikasi sementara dan perubahan



Gambar 5. Skema Proses Desain [4]

Dokumen yang dibuat secara dinamik dalam bentuk (*living documents*) harus dipegang oleh pihak pemohon atau operator dengan tanggung jawab penuh untuk membuat, memelihara, pemutakhiran, dan menyimpan dokumen tersebut. Pengarsipan dokumen dapat berupa analog (a.l. *microfilm*) atau digital. Pengarsipan dibuat dengan struktur yang jelas untuk memudahkan penelusuran dalam membuat, memelihara, memutakhirkan dan menyimpan. Struktur arsip dokumen untuk menghindari terjadinya tertukar atau kesalahan informasi yang diberikan berbeda dengan kondisi termutakhir [6].

Pengarsipan digital sudah sangat berkembang dan memudahkan bagi pengguna untuk mengakses data tersebut, namun perlu diperhatikan kerawanan terhadap keamanan (*security*) data desain instalasi yang bersifat rahasia, sehingga keamanan data menjadi perhatian penting.

Beberapa metoda untuk mengatur perubahan, pembuatan dan pemutakhiran dokumen antara lain seperti *virtual design construction*, dsb. Program atau perangkat/*tool* tersebut dapat membantu mempermudah pengaturan dokumen. Penggunaan perangkat tersebut dapat mengurangi keterbatasan manusia antara lain kurangnya koordinasi antar organisasi/institusi, lemahnya perhatian manusia terhadap perubahan-perubahan desain yang dibuat, dsb., namun penggunaan perangkat tersebut perlu divalidasi dan dijelaskan dalam dokumen yang akan diberikan ke badan pengawas.

Proses pemutakhiran data dilakukan oleh suatu bagian yang khusus mempunyai tanggung jawab untuk melakukan pemutakhiran data. Bagian tersebut dibuat agar tidak terjadi duplikasi data dan mendistribusikan data terkini pihak yang mempunyai akses kapanpun.

Pendistribusian dokumen tidak serta merta memberikan secara fisik namun juga memberikan akses dalam perangkat atau *software* desain manajemen.

Verifikasi keaslian dan keakuratan data dilakukan oleh pihak yang ditunjuk oleh manajemen lalu akan diteruskan ke bagian pemutakhiran data.

Pengarsipan dokumen juga perlu mendapat perhatian penting, terutama bila masih menggunakan dokumen analog, tak terkecuali juga untuk data digital. Hal yang utama adalah struktur sistem pengklasifikasian dokumen dengan rinci identifikasinya. Sistem tersebut sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut [6]:

- Pengambilan secara akurat terhadap informasi yang diinginkan
- Penghalang terhadap dimungkinkan terjadinya pencampuran informasi yang telah usang
- Proteksi terhadap perubahan yang tidak diinginkan dari kendali akses yang tidak terotorisasi

Dokumen sebaiknya disimpan oleh salah satu pihak yang berwenang baik dari *owner* atau pihak kontraktor dan sebaiknya ditempatkan ditempat yang terjaga selama kurun waktu tertentu. Terjaga terhadap potensi kebakaran, genangan air, kelembaban, dan terhadap pihak yang tidak memiliki akses. Pengkondisian lokasi tempat dokumen berada bertujuan untuk dapat memudahkan menelusuri dan tetap terjaganya dokumen untuk dibaca selama kurun waktu instalasi. Penggunaan jenis atau material untuk menyimpan dokumen harus dipilih dengan bahan yang mempunyai waktu simpan lama, untuk menghindari terjadinya pelapukan oleh waktu dan juga perilaku para pengguna yang tidak mengindahkan kebersihan dsb.

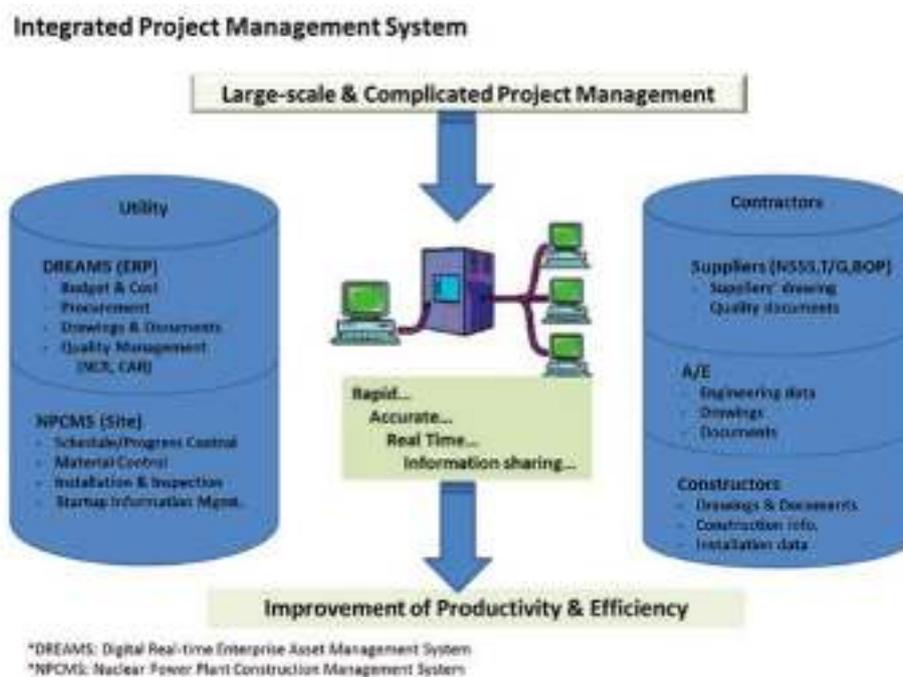
Penggunaan dokumen yang tersimpan juga harus memiliki prosedur yang sesuai, prosedur penggunaan, pemutakhiran, pemeliharaan dan penyimpanan data. Dalam pemutakhiran dan pemeliharaan data perlu dibedakan mana dokumen yang final, dan mana yang dokumen interim dengan penamaan atau penandaan tersendiri untuk mengurangi kerancuan. Menurut KTA 1404, data yang berasal dari manufaktur harus tetap berada di pihak pembuat hingga saat pengiriman dan penyertaan dokumen akhir. Penandaan dokumen dan catatan (*log*) perubahan dapat memberikan informasi serincinya dari perubahan data awal hingga akhir. Informasi tersebut berguna bila operator melaksanakan tindakan perawatan dan modifikasi dan retrofitting instalasi.

IAEA TECDOC 1335 tentang *Configuration Management in Nuclear Power Plants* secara rinci merekomendasikan pembuatan program sistem manajemen konfigurasi instalasi nuklir selama konstruksi, operasi, perawatan, dan pengujian agar

sesuai dengan persyaratan desain. IAEA TECDOC tersebut bertujuan untuk menjamin keakuratan informasi sesuai dengan kondisi fisik instalasi dan karakteristik operasional, dan tersedia sepanjang waktu, yang dapat meningkatkan keselamatan, keefektifan dan keputusan yang benar.

Pembuatan program manajemen konfigurasi mencakup penggunaan *perangkat*, pemanfaatan perangkat keras dan lunak, teknik dokumentasi, dan layanan lain yang berujung ke pencapaian dan pemeliharaan integritas informasi.

Perangkat tersebut dapat mengurangi biaya sebagai hasil dari berkurangnya kesalahan, koreksi dan pengerjaan ulang selama konstruksi. Penggunaan perangkat ini memerlukan sumber daya manusia yang memiliki kemampuan terpisah karena membutuhkan skill dan otoritas terbatas untuk mengakses. Gambar 6 dibawah adalah contoh pemanfaatan perangkat komputerisasi dalam sistem konfigurasi manajemen.



**Gambar 6.** Alur Proses Sistem Manajemen Proyek Terintegrasi dengan Perangkat

Keuntungan yang didapat dari penggunaan sistem atau program ini adalah [7]:

- Menjamin konfigurasi fasilitas terkini tetap diketahui secara akurat
- Mengurangi resiko kejadian keselamatan signifikan
- Mengurangi resiko padamnya sistem dan perawatan berlebih yang memicu kerusakan
- Memfasilitasi modifikasi desain dan implementasi dengan memberikan akses yang tepat pada informasi konfigurasi fasilitas
- Mencegah penundaan pada kegiatan perawatan
- Memfasilitasi program manajemen penuaan terkait basis data yang direkam selama umur instalasi yang merupakan bagian dari budaya keselamatan.

### III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Modifikasi desain dapat dilakukan selama proses konstruksi, hal ini dilakukan karena umum terjadi perubahan desain saat akan dibangun dilapangan, perubahan dilakukan untuk menyesuaikan kondisi yang ada saat akan dibangun. Perubahan desain dapat dilakukan setelah mendapat konfirmasi dan persetujuan dari badan pengawas.

Manajer proyek dari pemilik/operator menyiapkan suatu proses perubahan desain yang efektif untuk memverifikasi keselamatan, fungsi dan keandalan item yang berbeda-beda dari desain rujukan.

Perubahan desain dapat dibuat pada tingkatan sistem seperti perubahan kinerja, fungsi, moda operasi, metode pengendalian, atau pada tingkatan komponen seperti perubahan kondisi pelayanan, struktur, bahan, metode produksi dan lain-lain. Beberapa perubahan kecil untuk kondisi pelayanan dapat menyebabkan efek

lanjutan yang lain, meskipun komponen sendiri mungkin belum berubah secara fisik. Oleh karena itu, pengajuan desain pengendalian perubahan untuk persetujuan harus mencakup tidak hanya item desain sendiri, tetapi juga perubahan untuk operasi, lingkungan, kondisi antarmuka, dan sebagainya.

Kedua, perubahan desain harus dinilai dan ditinjau berdasarkan signifikansi potensi mereka untuk keselamatan, keandalan dan dampak ekonomi. Rencana verifikasi dan validasi harus ditetapkan. Rencana tersebut dapat mencakup pemeriksaan desain, tes *mock-up*, produksi percobaan dan tes kinerja tambahan di pabrik-pabrik atau di tapak. Rencana tersebut harus tercermin dalam pembuatan atau jadwal ereksi/konstruksi. Perubahan desain review dan verifikasi dan validasi hasil harus didokumentasikan.

Perubahan desain selama konstruksi terutama di tahap akhir sebaiknya diminimalkan karena umumnya menyebabkan keterlambatan jadwal dan kenaikan biaya (lihat Gambar 1). Oleh karena itu, desain asli harus direview secara rinci dan verifikasi dan validasi dijalankan sesuai rencana yang telah ditetapkan untuk meyakinkan bahwa desain dapat diimplementasikan.

Perubahan desain tetap harus memperhatikan keselamatan, tingkat keselamatan yang menjadi pertimbangan apakah modifikasi desain tersebut hanya memberikan konfirmasi ke badan pengawas atau perlu mendapat persetujuan dari badan pengawas.

Berikut adalah beberapa aplikasi dari pentingnya manajemen desain dari pedoman IAEA SSG 38 *Construction for Nuclear Installation* terutama *Control of Design Information* dalam bentuk diagram.

**Tabel 3.** Pedoman IAEA dan Aplikasi dalam Manajemen Desain

SSG	Aplikasi
4.26. SSR-2/1 [5] states: <i>“The operating organization shall establish a formal system for ensuring the continuing safety of the plant design throughout the lifetime of the nuclear power plant” (Requirement 3).7 “</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Model struktur organisasi: matrix, top-down</li> <li>2. Model pengambilan keputusan secara kolaboratif.</li> <li>3. Kriteria ‘safety’ menjadi prioritas (bobot tertinggi) dalam pengambilan keputusan.</li> </ol>
<i>“The formal system for ensuring the continuing safety of the plant design shall include a formally designated entity responsible for the safety of the plant design within the operating organization’s management system” (para. 3.5).</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Project management tools WBS - OBS</li> <li>2. Model struktur organisasi yang menggambarkan peran, jalur komunikasi, rantai komando dari seluruh partisipan yang terlibat berikut tanggung jawab</li> <li>3. Model pengambilan keputusan.</li> <li>4. Dokumentasi kemajuan dan perkembangan desain dalam manajemen desain</li> </ol>

**Tabel 4.** Pedoman IAEA dan Aplikasi dalam Manajemen Desain (lanjutan) [4]

SSG	Aplikasi
4.27. SSR-2/2 [6] states: <i>“During construction and commissioning, a comparison shall be carried out between the as built plant and its design parameters. A comprehensive process shall be established to address non-conformities in design, manufacturing, construction and operation. Resolutions to correct differences from the initial design and non-conformities shall be documented” (para. 6.15)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Proses verifikasi desain perlu dilakukan untuk mengidentifikasi ketidaksesuaian desain dengan spesifikasi, pelaksanaan konstruksi, dan ketersediaan sumber daya.</li> <li>6. Proses verifikasi desain, memverifikasi parameter desain (spesifikasi desain, resiko, biaya konstruksi, dsb) dengan hasil akhir proses desain (as built drawing).</li> <li>7. Proses verifikasi desain dengan kondisi tapak, rencana pelaksanaan konstruksi, situasi/kondisi kegiatan di sekitar tapak, ketersediaan sumber daya (mesin, manusia, biaya, dst).</li> <li>8. Identifikasi ketidaksesuaian desain dan keputusan beserta gambar perubahan desain di dokumentasikan.</li> <li>9. Perekaman informasi yang akurat</li> </ol>

**Tabel 5.** Pedoman IAEA dan Aplikasi dalam Manajemen Desain (lanjutan)

SSG	Aplikasi
4.28. Furthermore, NS-R-5 [8] states: <i>“The operating organization shall specify a formal procedure for design changes such that those made to the facility during construction are accurately recorded and their impacts are assessed” (para 7.6). “As built’ drawings of the facility shall be provided to the operating organization. Following construction of the facility, the operating organization shall review the as built drawings to confirm that, as far as can be assessed, the design intent has been met and the safety functions specified will be fulfilled. The operating organization shall, as required, seek agreement by the</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>10. Penetapan prosedur formal bagi pelaksana apabila ada perubahan desain selama proses konstruksi.</li> <li>11. Perubahan desain diharuskan melalui proses penilaian atau evaluasi, terutama dampak yang ditimbulkan (pada keseluruhan desain atau kondisi eksisting).</li> <li>12. Perubahan desain wajib mendapat persetujuan dari badan pengawas terkait bila signifikan terhadap keselamatan</li> <li>13. Perubahan desain harus didokumentasikan dengan akurat (terdapat konten perubahan, latar</li> </ol>

<i>regulatory body to proceed to the commissioning stage” (para. 7.7).</i>	belakang, hasil penilaian, beserta partisipan yang terlibat dalam perubahan desain.
14. <i>As built drawing</i>	harus melalui proses review dari pelaksana, untuk memastikan bahwa desain dapat diimplementasikan pada proses operasi dan dapat sesuai dengan tujuan (pencapaian tujuan dalam desain).
15. Pemenuhan syarat perizinan dalam bentuk dokumentasi	diwajibkan untuk mendapatkan izin selanjutnya.

#### IV. KESIMPULAN

Segala proses rinci desain telah diselesaikan secara komprehensif dalam tahap sebelumnya sehingga tahap konstruksi merupakan proses pengerjaan dilapangan atau implementasi desain rinci ke dalam bentuk fisik bangunan.

Perubahan desain dimungkinkan terjadi sebagaimana layaknya perubahan akibat ketidaksesuaian antara gambar dan dilapangan, posisi penempatan SSK yang dapat mengurangi fungsionalitas maupun ergonomi yang tidak sesuai dan mengurangi keselamatan dan lain sebagainya.

Segala perubahan desain akan direkam secara terkendali sesuai standar penamaan yang harus ditetapkan, sehingga rekaman dari desain awal hingga desain *as built* akan terjaga selama umur instalasi.

Perekaman yang terkendali dengan prosedur-prosedur dan manajemen desain yang baik seperti pedoman atau cara yang dijelaskan diatas diharapkan meningkatkan pentingnya informasi desain hingga tetap dapat digunakan diwaktu lain saat adanya modifikasi atau *upgrade* SSK instalasi nuklir selama siklus hidup instalasi tersebut.

Hingga saat ini belum terdapat Peraturan Kepala (PERKA) BAPETEN yang menaungi manajemen desain terutama saat konstruksi instalasi nuklir. Namun peraturan mengenai penerapan sistem manajemen dapat diacu karena manajemen desain merupakan salah satu implementasi dari sistem manajemen suatu instalasi nuklir. Bapeten telah menerbitkan pedoman teknis mengenai Pedoman Sistem Manajemen Konstruksi PLTN.

Peraturan internasional banyak tersedia untuk diacu, terutama dari negara yang telah memiliki PLTN seperti KTA Jerman, Regulatory Document 2.3.1 dalam bab Kendali Konfigurasi dari Canada dan dari IAEA SSG 38 yang secara detail menjelaskan bagaimana pentingnya penerapan manajemen desain dalam rangka keefektifan suatu pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan bagian dari laporan hasil kajian (LHK) Kajian Teknis Peraturan Kepala BAPETEN tentang Konstruksi Instalasi Nuklir. Penulis mengucapkan terimakasih kepada narasumber dan tim pengkaji yang terlibat dalam penyusunan LHK ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://probolecturing.files.wordpress.com/2009/12/dasar-dasar-manajemen-desain.pdf>, diakses tanggal 1 Juni 2017, jam 19.13
- [2] <https://www.mitre.org/publications/systems-engineering-guide/acquisition-systems-engineering-acquisition-program-planning/performance-engineering->, diakses tanggal 1 Juni 2017 pukul 19.15.
- [3] Rahmawati, Y., Presentasi Manajemen desain, sistem kontrol informasi desain, dan pengambilan keputusan desain, ITS, Surabaya, 2016
- [4] Rahmawati, Y., Presentasi Manajemen desain, sistem kontrol informasi desain, dan pengambilan keputusan desain File 2, ITS, Surabaya, 2016.
- [5] Regulatory Document 2.3.1, *Conduct of Licensed Activities: Construction and Commissioning Programs*
- [6] KTA 1404. (u.d.). *Documentation during Construction and Operation of Nuclear Power plants. KTA. KTA-Geschaefsstelle c/o Bundesamt fuer Strahlenschutz (BfS).*
- [7] IAEA TECDOC 1335, *Configuration Management in Nuclear Power Plants*, Vienna, 2003.



## MANAJEMEN RISIKO DALAM KONSTRUKSI INSTALASI NUKLIR/PLTN DAN PERATURAN YANG BERLAKU DI INDONESIA

**Arifin Muhammad Susanto**

*Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)-BAPETEN*

e-mail: a.msusanto@bapeten.go.id; arifin.m.susanto@gmail.com

### ABSTRAK

Manajemen risiko adalah suatu pendekatan terstruktur/metodologi dalam mengelola ketidakpastian yang berkaitan dengan ancaman; suatu rangkaian aktivitas manusia termasuk: penilaian risiko, pengembangan strategi untuk mengelolanya dan mitigasi risiko dengan menggunakan pemberdayaan/pengelolaan sumber daya. Peranan manajemen resiko dalam kelancaran pembangunan PLTN/ Instalasi nuklir menjadi hal yang sangat dibutuhkan. Pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) memiliki tingkat kompleksitas struktur, sistem dan komponen tinggi dengan sangat padat modal dan sumber daya manusia. Indonesia memiliki peraturan mengenai manajemen risiko dalam lingkup Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Ditunjukkan juga pedoman dalam menganalisis risiko dan identifikasinya dengan metode matriks berdasar peraturan tersebut. Penulis memberikan beberapa pengalaman negara pemilik PLTN/IN dalam menganalisis risiko konstruksi sehingga menjadi informasi yang sangat baik bagi negara yang belum pernah memiliki PLTN, untuk menunjukkan bahwa manajemen resiko adalah hal yang patut dipertimbangkan. Beberapa peraturan/code dan standar yang ada menunjukkan bahwa manajemen risiko memang diperlukan.

**Kata kunci:** Manajemen Risiko, SMK3, PLTN

### ABSTRACT

*Risk management is a structural approach on managing uncertainty in correspond to hazard; human activity which is consists of risk assessment, managing strategy development, and mitigate the risk by utilizing its resources. Risk management on NPP/ NI construction has an important role to accomplished the project successfully. Nuclear Power Plant (NPP) construction engage very complex structure, system and component as well as high financing budget and a lot of human resource involved. Indonesia regulation on risk management is enveloped on management system on construction environmental health and safety scope. Guidelines based on Indonesian regulation on analyzing and identifying the risk include matrix methodology are shown. Author presents a lesson learned from other country regarding of their experience on deal with construction risk management to show how useful and important it's information to analyze the construction risk for embarking nuclear country. Several code and standard are listed in order to express how important construction risk management would be.*

**Keywords:** Risk Management, SMK3, NPP.

## I. PENDAHULUAN

Risiko merupakan suatu keniscayaan dari suatu tindakan. Risiko berbanding lurus dengan kompleksitas dan besarnya suatu proyek. Pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) merupakan salah satu *mega-proyek* yang membutuhkan pelaksanaan manajemen risiko untuk tetap berlangsungnya proyek sesuai jadwal dan budget yang dialokasikan.

Tidak ada yang bebas risiko, yang ada hanya bagaimana mengatur (*manage*), meminimalkan (*minimize*), membagi (*share*) bahkan menerimanya (*accept*) dan memitigasi potensi dari resiko (*consequences*) terhadap proyek tersebut.

Risiko merupakan variasi dalam hal-hal yang mungkin terjadi secara alami didalam suatu situasi [1]. Risiko adalah ancaman terhadap kehidupan, properti atau keuntungan finansial akibat bahaya yang terjadi [2]. Secara umum risiko dikaitkan dengan kemungkinan (*probabilitas*) terjadinya peristiwa diluar yang

diharapkan [3]. Jadi risiko adalah variasi dalam hal-hal yang mungkin terjadi secara alami atau kemungkinan terjadinya peristiwa diluar yang diharapkan yang merupakan ancaman terhadap properti dan keuntungan finansial akibat bahaya yang terjadi.

Resiko muncul akibat ketidakpastian dari suatu obyek yang kita hadapi, terutama dalam menghadapi suatu proyek pembangunan PLTN/IN. keterlibatan para stakeholders seperti kontraktor, konsultan, pemilik, vendor, bahkan desainer berikut kepentingan dan wewenangnya masing-masing memberikan kontribusi ketidakpastian yang semakin tinggi. Dampak dari resiko terutama adalah keselamatan pekerja dan SSK dan karena ini adalah suatu proyek maka *schedule*, *cost* dan *resources* menjadi taruhan bagi pihak yang berkepentingan.

Pemahaman resiko dari tiap-tiap aspek dan bagaimana cara mengantisipasi, mengurangi bahkan

menanggulangi/memitigasinya adalah suatu cara untuk mengoptimalkan tiga aspek proyek diatas.

## II. RUANG LINGKUP

Makalah ini akan memberikan gambaran bagaimana pentingnya pelaksanaan manajemen resiko dalam pembangunan PLTN berikut contoh *best practices* yang dilaksanakan di negara lain dan bagaimana analisis resiko menurut persyaratan perundangan yang berlaku di Indonesia yaitu dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kemen PUPERA).

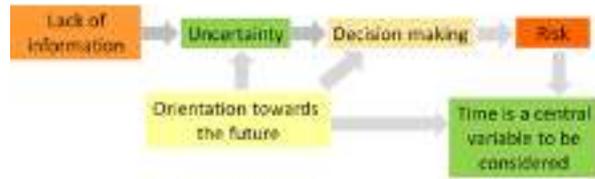
## III. LANDASAN TEORI

Resiko secara literatur dapat didefinisikan antara lain sebagai berikut:

- *“Risk” is used in different meanings with different words such as hazard or uncertainty (Al-Bahar and Crandall, 1990).*
- *Jannadi and Almishari (2003) defined risk as a combination of the probability, the severity, and the exposure of all hazards of an activity.*
- *Chapman (2010) risk as the “Likelihood of occurrence and the degree of impact of a negative event adversely affecting an activity”.*
- *Project Management Institute (2004) defines risk “as an uncertain event of condition, that, if it occurs, has a positive or a negative effect on at least one project objective, such as time, cost, scope, or quality”.*

Secara umum risiko dapat diklasifikasikan menurut berbagai sudut pandang yang tergantung dari dari kebutuhan dalam penanganannya [4]:

- 1) Risiko murni dan risiko spekulatif (*Pure risk and speculative risk*) Dimana risiko murni dianggap sebagai suatu ketidakpastian yang dikaitkan dengan adanya suatu luaran (*outcome*) yaitu kerugian. Contoh risiko murni kecelakaan kerja di proyek. Karena itu risiko murni dikenal dengan nama risiko statis. Risiko spekulatif mengandung dua keluaran yaitu kerugian (*loss*) dan keuntungan (*gain*). Risiko spekulatif dikenal sebagai risiko dinamis. Contoh risiko spekulatif pada perusahaan asuransi jika risiko yang dijamin terjadi maka pihak asuransi akan mengalami kerugian karena harus menanggung uang pertanggungan sebesar nilai kerugian yang terjadi tetapi bila risiko yang dijamin tidak terjadi maka perusahaan akan memperoleh keuntungan.
- 2) Risiko terhadap benda dan manusia, dimana risiko terhadap benda adalah risiko yang menimpa benda seperti rumah terbakar sedangkan risiko terhadap manusia adalah risiko yang menimpa manusia seperti risiko hari tua, kematian dsb.
- 3) Risiko fundamental dan risiko khusus (*fundamental risk and special risk*) Risiko fundamental adalah risiko yang kemungkinannya dapat timbul pada hampir sebagian besar anggota masyarakat dan tidak dapat disalahkan pada seseorang atau beberapa orang sebagai penyebabnya, contoh risiko fundamental: bencana alam, peperangan. Risiko khusus adalah risiko yang bersumber dari peristiwa-peristiwa yang mandiri dimana sifat dari risiko ini adalah tidak selalu bersifat bencana, bisa dikendalikan atau umumnya dapat diasuransikan



**Gambar 1.** Skema terbentuknya risiko dalam Konstruksi suatu bangunan

Gambar 1 menjelaskan bagaimana risiko terbentuk karena kurangnya informasi yang dimiliki dalam menghadapi suatu pekerjaan atau proyek, dan juga informasi yang diterima tentunya mempengaruhi proses pengambilan keputusan yang tidak akurat sehingga hasil yang didapat tidak sesuai dengan yang diharapkan yang menimbulkan risiko yang semakin bertambah.

Pengambilan keputusan berdasarkan asumsi, ekspektasi, estimasi dan peramalan untuk kejadian-kejadian di masa depan selalu melibatkan pengambilan risiko.

Alur risiko dimulai dari sumber risiko hingga munculnya kejadian akibat dari sumber tersebut dengan membawa konsekuensi terhadap fasilitas, konsekuensi memiliki tingkat keparahan sebagaimana digambarkan dalam Gambar 2 dibawah.



**Gambar 2.** Alur Proses Terjadinya Risiko

### Jenis-Jenis Resiko

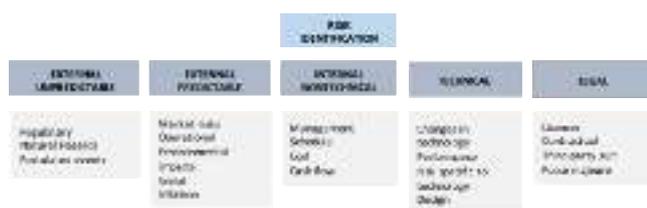
Resiko-risiko yang terdapat pada proyek konstruksi sangat banyak, namun tidak semua risiko-risiko tersebut perlu diprediksi dan diperhatikan untuk memulai suatu proyek karena hal itu akan memakan waktu yang lama. Oleh karena itu pihak-pihak didalam proyek konstruksi perlu untuk memberi prioritas pada risiko-risiko yang penting yang akan memberikan pengaruh terhadap keuntungan proyek.

Risiko-risiko tersebut adalah [5]:

1. Eksternal, tidak dapat diprediksi (tidak dapat dikendali):
  - a) Perubahan peraturan perundangundangan,
  - b) Bencana alam: badai, banjir, gempa bumi,
  - c) Akibat kejadian pengrusakan dan sabotase,
  - d) Pengaruh lingkungan dan sosial, sebagai akibat dari proyek,
  - e) Kegagalan penyelesaian proyek
2. Eksternal, dapat diprediksi (tetapi tidak dapat dikendali):
  - a) Resiko pasar,
  - b) Operasional (setelah proyek selesai),
  - c) Pengaruh lingkungan,
  - d) Pengaruh sosial,
  - e) Perubahan mata uang,
  - f) Inflasi
  - g) Pajak
3. Internal, non-teknik (tetapi umumnya dapat dikendali):
  - a) Manajemen,
  - b) Jadwal yang terlambat,

- c) Pertambahan biaya
  - d) *Cash flow*,
  - e) Potensi kehilangan atas manfaat dan keuntungan
4. Teknik (dapat dikendalikan):
- a) Perubahan teknologi,
  - b) Spesifikasi atas teknologi proyek,
  - c) Desain dan perubahannya
  - d) Kebakaran
  - e) Keberagaman *supply chain*
5. Hukum/Peraturan, timbulnya kesulitan akibat dari:
- a) Lisensi,
  - b) Hak paten,
  - c) Gugatan dari luar,
  - d) Gugatan dari dalam,
  - e) Hal-hal tak terduga
  - f) Ketidakpastian peraturan yang berlaku
6. Risiko-risiko dalam proyek [6] adalah:
- a) Penyelesaian yang gagal sesuai desain yang telah ditentukan/penetapan waktu konstruksi
  - b) Kegagalan untuk memperoleh gambar perencanaan, detail perencanaan/izin dengan waktu yang tersedia.
  - c) Kondisi tanah yang tak terduga
  - d) Cuaca yang sangat buruk.
  - e) Pemogokan tenaga kerja.
  - f) Kenaikan harga yang tidak terduga untuk tenaga kerja dan bahan.
  - g) Kecelakaan yang terjadi dilokasi yang menyebabkan luka.
  - h) Kerusakan yang terjadi pada struktur akibat cara kerja yang jelek.
  - i) Kejadian tidak terduga (banjir, gempa bumi, dan lain-lain)
  - j) Klaim dari kontraktor akibat kehilangan dan biaya akibat keterlambatan produksi karena detail desain oleh tim desain.
  - k) Kegagalan dalam penyelesaian proyek dengan budget yang telah ditetapkan
7. Sumber-sumber risiko [6]:
- a) Timbulnya inflasi,
  - b) Kondisi tanah yang tidak terduga,
  - c) Keterlambatan material,
  - d) Detail desain yang salah, seperti ukuran yang salah dari gambar yang dibuat oleh arsitek,
  - e) Kontraktor utama tidak mampu membayar/bangkrut,
  - f) Tidak ada koordinasi

Secara umum proses identifikasi risiko ditunjukkan dalam gambar 3 dibawah.



Gambar 3. Diagram Jenis-Jenis Risiko

Karakteristik pembangunan konstruksi instalasi nuklir/PLTN [7]:

- *Capital intensive* (padat modal)
  - Jadwal proyek yang sangat panjang
  - Melibatkan teknologi canggih
  - Biasanya menganut metoda *project delivery EPC (design-build)*
  - Dibatasi oleh peraturan yang *rigorous* mengenai lingkungan
  - Menjadi objek *public security* dan *concern*
- Konsekuensi yang umum terjadi dari resiko-resiko yang ada umumnya:
- Hilangnya nyawa pekerja atau cacat
  - Berhentinya proyek
  - Tertundanya proyek
  - Meningkatnya biaya proyek akibat kehilangan pekerja dan tertundanya jadwal pekerjaan.
  - Gagal terpenuhinya persyaratan desain, standar, kualitas dan keselamatan yang disepakati.
  - Kerusakan SSK penting untuk keselamatan

#### IV. POKOK BAHASAN

Manajemen risiko adalah suatu pendekatan terstruktur/metodologi dalam mengelola ketidakpastian yang berkaitan dengan ancaman; suatu rangkaian aktivitas manusia termasuk: Penilaian risiko, pengembangan strategi untuk mengelolanya dan mitigasi risiko dengan menggunakan pemberdayaan/pengelolaan sumberdaya [8].

Kerangka manajemen risiko yang dibangun dalam suatu organisasi dimaksudkan untuk mencapai tujuan yang dibagi dalam 4 kategori, yaitu:

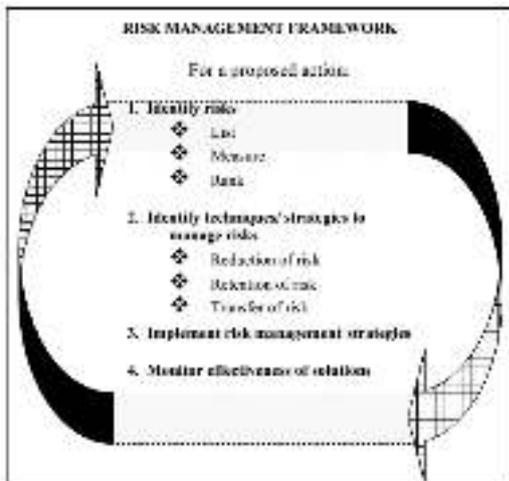
1. *Strategic*; goal tingkat tinggi yang diarahkan untuk mendukung misi yang dimiliki organisasi.
2. *Operations*; pemanfaatan yang efektif dan efisien dari sumber-sumber yang tersedia.
3. *Reporting*; dapat diandalkan atau dipercayanya laporan baik internal maupun eksternal.
4. *Compliance*; ketaatan terhadap berbagai undang-undang dan peraturan yang berlaku.

Dalam melaksanakan manajemen risiko, pendekatan yang dilakukan adalah dengan mengidentifikasi risiko yang didalamnya mengkuantifikasi risiko, manajemen respons dan menyediakan residual risk dan pemantauan sebagaimana ditunjukkan dalam gambar berikut ini.

Dalam STUK YVL A.5 tentang *Construction and commissioning of a nuclear facility* menetapkan bahwa manajemen risiko harus melingkupi risiko yang mencakup keselamatan nuklir dan radiasi, kualitas dan ko-operasi antar organisasi dan risiko signifikan terkait konstruksi dilapangan.

Analisis risiko perlu dilakukan untuk mengetahui risiko-risiko yang mungkin muncul di saat konstruksi. Identifikasi risiko, kategorisasi risiko, rencana manajemen risiko, tindakan untuk memitigasi konsekuensi dan harus dimasukkan kedalam register risiko. Register risiko harus di selalu dipelihara, dan sewaktu-waktu dapat diriviu oleh badan pengawas.

Beberapa tool yang dikeluarkan oleh IAEA dalam menganalisis risiko tercantum dalam IAEA IAEA-TECDOC-1209 *Risk management: A tool for improving nuclear power plant performance*.



Gambar 4. Kerangka Manajemen Resiko [9]

Dokumen tersebut menjelaskan bagaimana mengidentifikasi resiko, bagaimana cara menganalisis resiko dan mengelompokan berdasarkan konsekuensi yang akan diterima bagi instalasi nuklir, yang ditunjukkan dalam Gambar 4.

### Manajemen Resiko

Manajemen resiko merupakan bagian dari keseluruhan proyek manajemen sesuai PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*), sehingga banyak persyaratan perundangan mengenai manajemen resiko berada dibawah manajemen sistem.

Dibawah ini tabulasi beberapa persyaratan perundangan yang dapat digunakan untuk mengatur manajemen resiko dari peraturan perundangan internasional dan dari peraturan negara pemilik reaktor nuklir.

Lingkup manajemen resiko menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (PerMen PU) No. 05/PRT/M/2014 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dilakukan tidak hanya selama pelaksanaan konstruksi tapi dimulai dari pre-construction (tahap desain), procurement, konstruksi dan bahkan saat penyerahan pekerjaan.

Tabel 1. Code dan Standar Manajemen Resiko

Referensi	Poin Utama
WANO SOER (Significant Operating Experience Report) 2015-2"Risk Management Challenges"	Rekomendasi 1-7
WANO Performance Objective & Criteria, 2013/1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OR.3/10-13 (Management Systems – IRM)</li> <li>• CO.2/11 (Corporate Governance)</li> <li>• TR.1/9 (Training)</li> <li>• OF.2/6 (Operational Risk)</li> <li>• WM.1/21 (On-line and Outage Work</li> </ul>

	Management)
ISO 9001:2015 Quality management systems Requirements	Penguatan dalam manajemen resiko
ISO 31000:2009 Risk management – Principles and guidelines	Prinsip-prinsip, kerangka kerja dan proses manajemen resiko
WANO PL 2013-2 (rev.1) "Excellence in Integrated Risk Management"	Elemen, atribut, dan perilaku yang menunjukkan keunggulan Manajemen resiko terintegrasi (IRM) A. Perilaku efektif IRM B. Karakteristik organisasi IRM efektif C. Tanda peringatan IRM
IAEA TECDOC-1209 Risk management: A tool for improving NPP performance	Manajemen resiko, budaya organisasi dan komunikasi
IAEA TECDOC-1123 Strategies for Competitive NPPs	Resiko keuangan dan komersil dari operasi PLTN
IAEA SSR 2/1, r.1 Safety of NPPs, Design	Suatu kejadian yang tidak mungkin terjadi
AD-AA-3000 Exelon Nuclear Risk Management Process	Metode evaluasi dan mengatur resiko: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penapisan Resiko</li> <li>• Kajian resiko</li> <li>• Strategi mitigasi/eliminasi resiko</li> <li>• Pemetaan resiko (analisis resiko yang ditunjukkan secara visual)</li> <li>• Pemenuhan masalah resiko</li> </ul>
AD-AA-3100 Exelon Nuclear Risk Management Process	Tatakelola dan pengawasan resiko tingkat <i>fleet</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanggung jawab</li> <li>• Jalur pertahanan</li> <li>• Analisis dan identifikasi resiko</li> <li>• Proses eskalasi resiko</li> <li>• Mitigasi resiko</li> <li>• Masalah resiko yang menukik (deep dives)</li> <li>• Kendali dan pemantauan resiko</li> </ul>
PC-AA-1014 Exelon Generation (Project) Risk Management	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifikasi resiko</li> <li>• Rencana manajemen resiko</li> <li>• Analisis dan klasifikasi resiko</li> <li>• Rencana respon resiko</li> <li>• Pengendalian dan pemantauan resiko</li> </ul>

Manajemen resiko terdiri dari kebijakan keselamatan K3, perencanaan, kendali operasional, evaluasi dan pemantauan kinerja, dan riviui kinerja.

**ANALISIS RESIKO BERDASAR PERATURAN PERUNDANGAN DI INDONESIA**

Dalam menentukan potensi resiko perlu dilakukan kajian atau analisis resiko yang akan berdampak pada proyek pembangunan Instalasi Nuklir tersebut. Metode analisis yang dapat digunakan berupa kuantifikasi dan kualifikasi resiko.

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (PerMen PU) No. 05/PRT/M/2014 tentang Pedoman Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum, membahas tentang manajemen resiko secara umum, berikut analisis kuantifikasi dan kualifikasi resiko yang berdampak pada proyek. Peraturan ini berlaku untuk seluruh pekerjaan konstruksi struktur yang ada di Indonesia. Namun karena hingga saat ini tidak ada peraturan yang membahas manajemen resiko untuk bangunan khusus (bangunan instalasi nuklir) maka peraturan ini dapat digunakan.

Risiko K3 Konstruksi adalah ukuran kemungkinan kerugian terhadap keselamatan umum, harta benda, jiwa manusia dan lingkungan yang dapat timbul dari sumber bahaya tertentu yang terjadi pada pekerjaan konstruksi. Penilaian Tingkat Risiko K3 Konstruksi dapat dilakukan dengan memadukan nilai kekerapan/frekuensi terjadinya peristiwa bahaya K3 dengan keparahan/kerugian/dampak kerusakan yang ditimbulkannya. Penentuan nilai kekerapan atau frekuensi terjadinya Risiko K3 Konstruksi seperti dinyatakan dengan nilai pada tabel dibawah.

**Tabel 2.** Nilai Kekerapan (A) Terjadi Resiko Konstruksi

Nilai	Kekerapan
1 (satu)	Jarang terjadi dalam kegiatan konstruksi
2 (dua)	Kadang-kadang terjadi dalam kegiatan konstruksi
3 (tiga)	Sering terjadi dalam kegiatan konstruksi

Penentuan nilai keparahan atau kerugian atau dampak kerusakan akibat Risiko K3 Konstruksi seperti dinyatakan dengan nilai pada Tabel dibawah.

**Tabel 3.** Keparahan atau Kerugian (P)

TINGKAT	KEPARAHAN/KERUGIAN/DAMPAK				NILAI
	ORANG	HARTA BENDA	LINGKUNGAN	KESELAMATAN UMUM	
RINGAN					1
SEDANG					2
BERAT					3

Tingkat Risiko K3 Konstruksi (TR) kekerapan terjadinya ditimbulkan (A), keparahan/kerugian (P) maka dihasilkan matriks perhitungan untuk nilai tingkat resiko konstruksi adalah tabel beriku dengan formula dibawah:

$$TR = P \times A$$

**Tabel 4.** Matriks Resiko

TINGKAT RISIKO K3 KONSTRUKSI		Keparahan (Akibat)		
		1	2	3
Kekerapan	1	1	2	3
	2	2	4	6
	3	3	6	9

Keterangan:

- : Tingkat Risiko K3 Rendah;
- : Tingkat Risiko K3 Sedang; dan
- : Tingkat Risiko K3 Tinggi.

Beberapa hal atau parameter yang penting dalam menentukan penilaian tingkat resiko adalah tersedianya data historis atau riwayat terhadap sumber resiko yang mungkin muncul dalam proyek pembangunan instalasi nuklir.

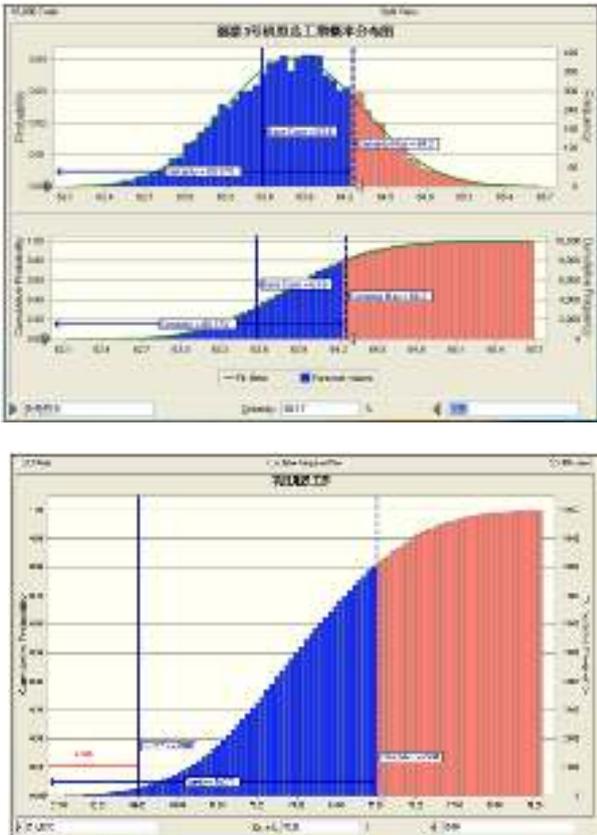
Banyak digunakan tool dan metode untuk menyelesaikan manajemen resiko yaitu *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), *Critical Path Method* (CPM) dan *Probabilistic risk analysis* (PRA).

Untuk proyek yang sangat kompleks dan melibatkan interaksi antar manusia dan sub-kontraktor yang sangat banyak hingga 10.000 orang (studi kasus di tiangkong untuk 1 unit PLTN), metode yang lebih akurat dapat menggunakan analisis numeris menggunakan analisis *Monte Carlo*, metode *Delphi*, *Probabilistik Risk Assessment* (PRA) *software* (a.l. Primavera), seperti pengalaman yang pernah dilakukan oleh negara tiangkong dan negara yang mengoperasikan PLTN.

**Tabel 5.** Matriks Resiko PLTN Tiangkong [10]

Probability (P)	Impact Degree (I)				
	1 Very low	2 Low	3 Moderate	4 High	5 Very high
5 Very high	3	3	3	3	3
4 High	2	2	2	2	2
3 Moderate	1	1	1	1	1
2 Low	1	1	1	1	1
1 Very low	1	1	1	1	1

Metode Monte Carlo simulation merupakan teknik menggunakan cara statistic yang menghitung secara berulang-ulang dengan menggunakan scenario "what if" yang dipilih secara acak untuk setiap perhitungan. Proses perhtungan harus menggunakan software computer dengan perangkat kerans yang memadai karena mencakup proses simulasi yang sangat kompleks. Hasil dari proses simulasi ini berupa grafik kemungkinan keluaran yang akan terjadi, grafik sebaran distribusi yang dapat digunakan untuk pengambil keputusan dalam menentukan manajemen resiko.



Gambar 5. Grafik Distribusi Resiko [10]



Gambar 6. Hasil Monte Carlo Proses [10]

Prosedur diatas memberikan kemungkinan untuk mengatur secara lebih baik dalam resiko proyek dan menjelaskan konseskuensi yang memadai terhadap kriteria penerimaan dari resiko.

Proyek konstruksi dan resiko yang dibawahnya akan menjadi transparan, resiko apa saja yang mungkin muncul dan memikirkan cara mencegah, mengendalikan atau memitigasinya. Sehingga informasi yang diberikan menempatkan pihak pengambil keputusan (kontraktor, pemilik dan stakeholder terkait) dalam memahami berikut mengetahui kondisi proyek dan resikinya. Selain itu dimungkinkan untuk menapis resiko yang berkosekuensi besar terhadap proyek di tahap awal sehingga dapat dipantau dan diantisipasi sejak awal yang meringankan biaya proyek [11].

## V. KESIMPULAN

Manajemen resiko memiliki peranan penting terutama kondisi saat ini dalam pembangunan konstruksi. Identifikasi resiko yang dilanjutkan dengan analisis yang hasilnya tentu menjadi bahan yang sangat penting. Manajemen resiko yang ideal tentunya

meningkatkan produktifitas/efektifitas performa konstruksi bahkan meningkatnya efesiensi, terutama proyek pembangunan dengan tingkat kompleksitas yang sangat tinggi.

Permen PU 05/PRT/M/2014 memberikan pedoman dalam memberikan petunjuk melaksanakan manajemen resiko. Informasi yang diberikan sangat sederhana dan memudahkan bagi pihak kontraktor namun untuk pembangunan PLTN/instalasi nuklir melihat perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dirasa perlu menggunakan tool atau metode yang lebih akurat.

Penggunaan metode probabilistik seperti *monte carlo* dan metode lain akan lebih baik menunjukkan potensi resiko yang mungkin muncul dalam pembangunan PLTN/instalasi nuklir. Metode ini sudah diaplikasikan oleh negara yang memiliki PLTN.

Yang perlu diperhatikan adalah basis data untuk daftar resiko (*risk registry*) yang muncul dalam pembangunan PLTN. Basis data dalam resiko pembangunan PLTN hingga saat ini belum banyak, negara yang pernah membangun umumnya belum secara terbuka membuka informasi resiko-resiko yang pernah mereka alami dan bagaimana mencegah resiko dan mengatasi konsekuensinya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan bagian dari laporan hasil kajian (LHK) Kajian Teknis Peraturan Kepala BAPETEN tentang Konstruksi Instalasi Nuklir. Penulis mengucapkan terimakasih kepada narasumber dan tim pengkaji yang terlibat dalam penyusunan LHK ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fisk, W.J. and Rosenfeld, A.H. 1997. *Estimates of Improved Productivity and Health from Better Indoor Environments*. 3 u.o.: *Indoor Air*, 1997. Vol. 7, ss. 158-172.
- [2] Duffield, C & Trigunaryah, B., "Project Management Conception to Completion." *Red. Engineering Education Australia. (EEA)*. 1999.
- [3] Soeharto, I., "Manajemen Proyek dari konseptual sampai operasional." Airlangga, 1995.
- [4] Rahayu, P.H., "Asuransi Contractor's All Risk sebagai Alternatif Pengalihan Risiko Proyek Dalam Industri Konstruksi Indonesia." Seminar Nasional Manajemen Konstruksi 2001 Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan. 2001. Proceeding.
- [5] Wideman, Max R. *Project and Program Risk Management: A Guide to Managing Project Risk Opportunities*. Amerika: *Project Management Institute*, 1992.
- [6] Flanagan, R & Norman., *Risk Management and Construction*. London: Blackwell, 1993.
- [7] Marzuki, Prof. Dr.Ir. Puti Farida. *Manajemen Risiko di Dalam Proyek Konstruksi*. PPT. Bandung, 2016.
- [8] Wikipedia, [https://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen\\_risiko](https://id.wikipedia.org/wiki/Manajemen_risiko). den 19 Juni 2016. Web Browser. den 19 September 2016.

- [9] IAEA TECDOC 1209. 2001. *Risk Management: A Tool for Improving Nuclear Power Plant Performance*, April 2001.
- [10] *Presentation of China NPP Risk Management, presented on IAEA Technical Meeting on Construction Risk Management*, Vienna, 2016
- [11] Dr.-Ing. Tilo Nemuth, *Practical Use of Monte Carlo Simulation for Risk Management within the International Construction Industry*, Grauber, Schmidt & Proske: *Proceedings of the 6th International Probabilistic Workshop*, Darmstadt 2008



## KEBIJAKAN DAN STRATEGI NASIONAL KESELAMATAN NUKLIR DAN RADIASI

**Donni Taufiq**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: d.taufiq@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas tidak hanya menjadi perhatian badan pelaksana (Badan Tenaga Nuklir Nasional), ataupun badan pengawas saja (Badan Pengawas Tenaga Nuklir), namun juga menjadi perhatian kementerian, lembaga pemerintah non kementerian, serta institusi yang terkait termasuk menjadi perhatian pemerintah daerah. Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi diperlukan sebagai arahan pengembangan infrastruktur pengawasan ketenaganukliran melalui rencana, program, dan pelaksanaan kegiatan yang terpadu, efektif dan efisien. Keberadaannya dimaksudkan sebagai pedoman dalam penyusunan kebijakan teknis, perencanaan, pemrograman dan kegiatan lain yang terkait dengan keselamatan ketenaganukliran baik di lingkungan kementerian dan lembaga pemerintah nonkementerian terkait, termasuk dalam hal ini adalah pemerintah daerah.

**Kata kunci:** Kebijakan, Strategi, Keselamatan Nuklir, Peraturan Presiden.

### ABSTRACT

*The utilization of nuclear energy, which is growing significantly, is not only the concern of the implementing body (National Nuclear Energy Agency or the regulatory body (Nuclear Energy Regulatory Agency), but also has become the attention of ministries, non-ministerial government agencies, and related institutions including the attention of local governments. National Policy and Strategy on Radiation and Nuclear Safety is required as a guidance in the development of nuclear energy regulatory infrastructure through integrated, effective and efficient plan, programme, and implementation. Its existence is intended as a guideline in the preparation of technical policies, planning, programming and other activities related to nuclear safety both within the ministry and non-ministerial government agency, including the local governments.*

**Keywords:** Policy, Strategy, Nuclear Safety, Presidential Decree.

## I. PENDAHULUAN

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran) menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan dalam hal kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Setiap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, baik di bidang fasilitas radiasi dan zat radioaktif maupun di bidang instalasi dan bahan nuklir, harus diatur dan diawasi oleh pemerintah.

Keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas tidak hanya menjadi perhatian badan pelaksana (Badan Tenaga Nuklir Nasional selanjutnya disingkat BATAN) ataupun badan pengawas (Badan Pengawas Tenaga Nuklir selanjutnya disingkat BAPETEN), namun juga menjadi perhatian kementerian, lembaga pemerintah non kementerian, serta institusi yang terkait termasuk menjadi perhatian pemerintah daerah.

Situasi kelembagaan dan tata kelola pemerintahan di Indonesia telah banyak sekali berubah sejak UU Ketenaganukliran diberlakukan 20 (dua puluh) tahun yang lalu. Perkembangan situasi kelembagaan dan pemerintahan inilah yang mengakibatkan BAPETEN tidak bisa berdiri sendiri

dalam melaksanakan tugas pengawasan ketenaganukliran.

Untuk meningkatkan koordinasi antar instansi pemerintah dan sebagai arahan pendukung infrastruktur pengawasan ketenaganukliran, maka perlu ditetapkan Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi dalam bentuk Peraturan Presiden. Kebijakan dan Strategi Nasional ini akan diundangkan dalam bentuk Peraturan Presiden karena merupakan regulasi yang bersifat mandiri dan tidak merupakan amanah dari UU Ketenaganukliran.

Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ini sudah masuk dalam Program Penyusunan Peraturan Presiden 2016 melalui Keputusan Presiden Nomor 11 Tahun 2016 tentang Program Penyusunan Peraturan Presiden Tahun 2016 dan saat ini sudah masuk pada tahapan harmonisasi di Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia setelah selesai pembahasan pada Panitia antar Kementerian/Lembaga.

## II. POKOK BAHASAN

Dalam makalah ini akan dibahas tujuan penyusunan Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir

dan Radiasi, muatan kebijakan, dan pertimbangan strategis dari penyusunan Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi.

### III. HASIL PEMBAHASAN

#### 1. Tujuan Penyusunan Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi

Tujuan penyusunan Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi adalah sebagai berikut:

##### a. Sebagai Arahan Infrastruktur Hukum dan Kelembagaan Pengawasan Ketenaganukliran

Pengawasan ketenaganukliran saat ini berinduk kepada UU Ketenaganukliran. Namun, situasi kelembagaan dan tata kelola pemerintahan di Indonesia banyak mengalami perubahan sejak UU Ketenaganukliran diberlakukan 20 (dua puluh) tahun yang lalu. Semenjak era reformasi yang kemudian berlanjut ke era stabilisasi dan konsolidasi 1 (satu) dekade terakhir, ada banyak perubahan drastis yang berpengaruh terhadap struktur pengawasan dan pengaturan ketenaganukliran. Perubahan tersebut antara lain adalah menguatnya peran pemerintah daerah, berkembangnya format baru lembaga negara independen dan lembaga negara bantu (*state auxiliary agencies*), dan semakin terfragmentasinya praktek kewenangan lembaga kementerian dan lembaga pemerintah nonkementerian. Hal inilah yang mengakibatkan BAPETEN tidak bisa berdiri sendiri dalam melaksanakan tugas pengawasan ketenaganukliran.

Jumlah peraturan perundang-undangan atau regulasi di Indonesia mencapai puluhan ribu. Kondisi ini membuat instansi pemerintah tidak bisa leluasa menjalankan tugas dan fungsinya karena banyaknya irisan suatu peraturan perundang-undangan dengan peraturan perundang-undangan yang lain. Dalam bidang pengawasan ketenaganukliran, selain harus memperhatikan peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran juga harus memperhatikan peraturan perundang-undangan di bidang lain, antara lain bidang kesehatan, bidang lingkungan hidup dan kehutanan, bidang energi dan sumber daya mineral, bidang mutu dan kelembagaan, bidang kesiapsiagaan dan penanggulangan bencana, bidang perdagangan dan transportasi, bidang pangan dan pertanian, dan bidang sumber daya manusia.

Tidak jarang pula ditemukan pengaturan dalam suatu perundang-undangan bertentangan dengan peraturan perundang-undangan yang lain. BAPETEN pernah mengalami hal ini dalam pengaturan terkait limbah radioaktif, yang kemudian ditindaklanjuti dengan membuat *Memorandum of Understanding* (MoU) dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Mengingat jumlah peraturan perundang-undangan di Indonesia mencapai puluhan ribu dan instansi pemerintah juga tidak sedikit jumlahnya maka akan merepotkan jika BAPETEN selalu menindaklanjuti perbedaan pengaturan melalui MoU dengan instansi pemerintah terkait.

Satu hal yang perlu diperhatikan dari MoU adalah kekuatan hukum mengikat dari MoU itu jika berbenturan dengan peraturan perundang-undangan. Belum lagi posisi BAPETEN sebagai lembaga pemerintah non kementerian (LPNK) yang bisa menimbulkan polemik tersendiri dari sisi ketatanegaraan. Jika ada peraturan kepala BAPETEN berbenturan dengan suatu peraturan menteri, akan menjadi suatu perdebatan peraturan mana yang harus didahulukan. Berdasarkan Pasal 108 Keputusan Presiden Nomor 9 Tahun 2004 tentang Perubahan Atas Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, Dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Departemen, sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Peraturan Presiden Nomor 145 Tahun 2015<sup>1</sup>, kepala LPNK yang dijabat oleh pegawai negeri sipil adalah jabatan eselon IA. Maka secara hierarki ketatanegaraan kepala BAPETEN selevel dengan direktur jenderal sebagai pejabat eselon IA di bawah menteri. Oleh karena itu peraturan kepala BAPETEN secara hukum positif kedudukannya di bawah peraturan menteri.

Berdasarkan Pasal 4 ayat (1) UU Ketenaganukliran disebutkan bahwa pemerintah membentuk badan pengawas yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden, yang bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Secara sekilas jika dibaca memang kepala BAPETEN seakan-akan setingkat dengan menteri yang juga berdasarkan UU No. 39 Tahun 2008 tentang Kementerian Negara (UU Kementerian) adalah pembantu Presiden. Namun dalam Pasal 25 ayat (2) UU Kementerian disebutkan bahwa LPNK berkedudukan di bawah Presiden dan bertanggung jawab kepada Presiden melalui menteri yang mengoordinasikan. Sebagai *lex specialis* dari peraturan perundang-undangan yang mengatur hubungan kementerian dan LPNK maka UU Kementerian inilah yang menjadi dasar hubungan antara kepala LPNK, termasuk kepala BAPETEN, dengan menteri.

Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ini diharapkan dapat menjawab tantangan pengawasan ketenaganukliran dari aspek infrastruktur hukum dan kelembagaan pengawasan ketenaganukliran. Permasalahan terfragmentasinya kewenangan antar instansi pemerintah karena tumpang tindihnya peraturan perundang-undangan diharapkan dapat diminimalisir.

<sup>1</sup> Lembaga Pemerintah Non Departemen kemudian disebut sebagai Lembaga Pemerintah Non Kementerian

**b. Sebagai Acuan dalam Menjalankan Kebijakan dan Strategi Nasional Sektoral Keselamatan Nuklir dan Radiasi bagi Menteri dan Kepala Lembaga Pemerintah Nonkementerian Terkait**

Menurut E.F.L. Brech, koordinasi adalah mengimbangi dan menggerakkan tim dengan memberikan lokasi kegiatan pekerjaan yang cocok dengan masing-masing dan menjaga agar kegiatan itu dilaksanakan dengan keselarasan yang semestinya di antara para anggota itu sendiri.

Koordinasi pemerintahan merupakan kegiatan-kegiatan penyelenggaraan pemerintahan harus ditujukan ke arah tujuan yang hendak di capai yaitu yang telah ditetapkan menjadi garis-garis besar haluan negara dan garis-garis besar haluan pembangunan baik untuk tingkat pusat ataupun untuk tingkat daerah, guna menuju kepada sasaran dan tujuan itu gerak kegiatan harus ada pengendalian sebagai alat untuk menjamin langsungnya kegiatan.

Keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas tidak hanya menjadi perhatian badan pelaksana ataupun badan pengawas saja, namun juga menjadi perhatian kementerian, LPNK, serta institusi yang terkait termasuk menjadi perhatian pemerintah daerah. Untuk itu diperlukan suatu acuan dalam koordinasi di antara instansi pemerintah yang terkait dalam keselamatan ketenaganukliran.

Dengan adanya Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi diharapkan adanya suatu acuan bagi pimpinan masing-masing instansi pemerintah dalam proses perencanaan kegiatan di instansi masing masing terkait dengan jaminan keselamatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir.

Koordinasi dalam pelaksanaan suatu rencana, pada dasarnya merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam proses hubungan antar lembaga pemerintah. Koordinasi dalam hal ini adalah suatu proses rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menyelaraskan tiap langkah dan kegiatan setiap instansi pemerintah terkait agar tercapai gerak yang tepat dalam mencapai sasaran dan tujuan-tujuan yang telah ditetapkan, selain sebagai suatu proses, koordinasi itu dapat juga diartikan sebagai suatu pengaturan yang tertib dari kumpulan/gabungan usaha untuk menciptakan kesatuan tindakan.

Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ini merupakan suatu dokumen acuan yang bersifat aktif terhadap setiap gerak dan kegiatan dan hubungan kerja antara instansi pemerintah terkait dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Sehingga kesimpangsiuran dan saling tumpang tindih kegiatan di antara instansi pemerintah yang mengakibatkan tidak efektifnya pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dapat diminimalisir.

**c. Memperkuat Pemanfaatan dan Pengawasan Ketenaganukliran**

Merupakan suatu keharusan dalam teori hukum modern bahwa perumusan suatu peraturan perundang-undangan senantiasa memperhatikan pada aspek kepentingan nasional. Dari prinsip kepentingan nasional pemerintah selanjutnya mengambil langkah strategis dalam upaya meraup manfaat ekonomi dari objek pengaturan tersebut yang hasilnya dapat dirasakan oleh segenap bangsa Indonesia.

Sejak berlakunya UU Ketenaganukliran, dari segi keselamatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir bisa dikatakan cukup berhasil. Hal ini ditunjukkan dengan tidak adanya kecelakaan nuklir yang terjadi di Indonesia.

Namun potensi besar dari pemanfaatan tenaga nuklir belum berhasil dioptimalkan. Saat ini domain dari ketenaganukliran seakan-akan hanya dijalankan oleh 2 (dua) instansi pemerintah saja, yaitu BATAN sebagai badan pelaksana dan BAPETEN sebagai badan pengawas. Seakan-akan selain BATAN dan BAPETEN, instansi pemerintah lain tidak bisa memanfaatkan potensi besar dari ketenaganukliran. Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ini memperluas pihak-pihak yang terlibat dalam ketenaganukliran tidak hanya menjadi domain BATAN dan BAPETEN. Dalam jangka panjang diharapkan Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ini dapat memperkuat ketenaganukliran, yang diharapkan akan berdampak positif dalam optimalisasi pemanfaatan tenaga nuklir yang pada akhirnya akan berujung pada kesejahteraan rakyat.

**2. Muatan Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi**

Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi akan diimplementasikan dalam 8 (delapan) bidang terkait ketenaganukliran, yaitu bidang kesehatan; lingkungan hidup dan kehutanan; energi, industri nuklir, dan sumber daya mineral radioaktif; mutu dan kelembagaan; kesiapsiagaan dan kedaruratan nuklir; perdagangan dan transportasi; pangan dan pertanian; dan sumber daya manusia. Muatan dari Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi untuk diaplikasikan ke 8 (delapan) bidang tersebut adalah sebagai berikut:

**a. Pengembangan Sistem Informasi yang Terintegrasi Secara Nasional**

Dalam rangka menyelenggarakan pemerintahan yang efektif dan efisien diperlukan penguatan sistem informasi untuk menghasilkan data dan informasi yang andal dan mudah diakses, termasuk dalam ketenaganukliran. Kebijakan penguatan sistem informasi ketenaganukliran yang ideal perlu disusun sebagai landasan, arah, dan tujuan, serta tahapan pengembangan dan penguatan sistem informasi ketenaganukliran.

Dengan kebijakan penguatan sistem informasi ini, yang mana akan dijabarkan melalui strategi-strategi yang sesuai dengan masing-masing bidang, diharapkan akan dapat diwujudkan manfaat antara lain:

- (i) pengawasan ketenaganukliran akan semakin jelas dan tepat sasaran;
- (ii) penguatan pemetaan kondisi dan potensi ketenaganukliran; dan
- (iii) penguatan kualitas pelayanan publik.

#### **b. Peningkatan Efektivitas Pengawasan Ketenaganukliran**

Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi merupakan acuan bagi masing-masing instansi pemerintah terkait dalam mengambil langkah-langkah sesuai tugas, fungsi, dan kewenangan masing-masing untuk melakukan peningkatan efektivitas dan penguatan pengawasan ketenaganukliran.

Pada prinsipnya pengawasan yang efektif harus memiliki karakteristik:

- (i) ada unsur keakuratan, dimana data harus dapat dijadikan pedoman dan valid;
- (ii) tepat waktu, yaitu dikumpulkan, disampaikan dan dievaluasi secara cepat dan tepat dimana kegiatan perbaikan perlu dilaksanakan;
- (iii) obyektif dan menyeluruh, dalam arti mudah dipahami;
- (iv) terpusat, dengan memusatkan pada bidang-bidang penyimpangan paling sering terjadi;
- (v) realistis secara ekonomis, dimana biaya sistem pengawasan harus lebih rendah atau sama dengan kegunaan yang didapat;
- (vi) realistis secara organisasional, yaitu cocok dengan kenyataan yang ada di organisasi;
- (vii) terkoordinasi dengan aliran kerja, karena dapat menimbulkan sukses atau gagalnya operasi;
- (viii) fleksibel, yaitu harus dapat menyesuaikan situasi yang dihadapi;
- (ix) sebagai petunjuk dan operasional, dimana harus dapat menunjukkan deviasi standar; dan
- (x) diterima oleh pihak terkait.

Dengan memperhatikan 10 (sepuluh) karakteristik ini, kebijakan peningkatan efektivitas pengawasan ketenaganukliran dijabarkan dalam strategi-strategi antara lain:

- (i) melakukan sinergi, kolaborasi, dan kerja sama dalam pengawasan ketenaganukliran;
- (ii) menyusun dan menyempurnakan peraturan perundang-undangan terkait pengawasan ketenaganukliran sesuai dengan tugas dan fungsi masing-masing instansi;

- (iii) melakukan pemberian bimbingan teknis dan supervisi di bidang pengawasan ketenaganukliran; dan
- (iv) meningkatkan kualitas sumber daya manusia yang dilakukan secara terencana, terarah dan berkesinambungan dalam rangka meningkatkan kemampuan dan profesionalisme dalam pengawasan ketenaganukliran, khususnya di instansi pemerintah di luar BATAN dan BAPETEN;

#### **c. Pengembangan Infrastruktur Sarana dan Prasarana Pendukung Pengawasan Ketenaganukliran**

Sarana dan prasarana merupakan salah satu objek yang sangat vital dalam mendukung tercapainya tujuan keselamatan dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Sarana secara etimologis adalah segala sesuatu yang dapat dipakai sebagai alat dalam mencapai maksud atau tujuan. Sedangkan prasarana berarti alat tidak langsung untuk mencapai tujuan.

Infrastruktur sarana dan prasarana yang memadai merupakan suatu kebutuhan dari keberlangsungan ketenaganukliran. Dan untuk mengembangkan infrastruktur sarana dan prasarana keselamatan nuklir nasional hanya dapat dimaksimalkan dengan melakukan koordinasi dengan berbagai instansi terkait.

Beberapa strategi dalam menjalankan kebijakan pengembangan infrastruktur sarana dan prasarana pendukung pengawasan ketenaganukliran ini antara lain:

- (i) memasang peralatan pemantauan radioaktivitas lingkungan;
- (ii) mengembangkan infrastruktur transportasi darat, laut, dan udara;
- (iii) mengembangkan lembaga uji dan lembaga sertifikasi produk nuklir;
- (iv) mengembangkan pusat unggulan (*center of excellence*); dan
- (v) mengembangkan teknologi pengawasan ketenaganukliran

### **3. Pertimbangan Strategis**

Dalam merumuskan Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi perlu diperhatikan 2 (dua) pertimbangan strategis yaitu:

#### **a. Pertimbangan Ekonomi**

Jika dimanfaatkan secara optimal, tenaga nuklir dapat menghasilkan manfaat ekonomi yang sangat besar. Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) dapat menjawab tantangan kebutuhan energi di Indonesia. Energi merupakan salah satu program pokok pemerintah disamping program pangan. Kebutuhan energi secara normatif terus meningkat sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk, membaiknya taraf hidup dan

berkembangnya industri. Sebagai negara yang sedang tumbuh berkembang Indonesia juga mengikuti norma tersebut.

Kemajuan dan kemakmuran suatu negara dapat diukur dari berapa besar penggunaan energi listrik per kapitanya. Bertambah besar energi yang dikonsumsi suatu negara berarti bertambah maju atau bertambah makmur negeri tersebut. Hal ini tidak lain karena listrik merupakan lambang kemajuan ekonomi sekaligus kemajuan teknologi.. Bahkan tidak hanya untuk keperluan rumah tangga, tetapi juga merupakan andalan dalam proses industri modern. Oleh karena itu, negara maju berlomba untuk mensuplai listrik dengan biaya pembangkit listrik yang murah, efisien, dan ramah lingkungan

#### b. Pertimbangan Politik dan Hukum

Perkembangan politik nasional sejak reformasi 1998 berjalan kondusif. Proses pergantian kepemimpinan baik di tingkat nasional maupun daerah dapat berjalan secara mulus, tanpa adanya gejolak yang cukup berarti. Kondisi politik yang kondusif ini menjadi prasyarat yang sangat penting dalam pemanfaatan ketenaganukliran.

Berdasarkan hasil survei tahun 2015, didapatkan 75,3% masyarakat menerima pembangunan PLTN sebagai salah satu alternatif penyedia kebutuhan listrik di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia sudah sangat membutuhkan penenuhan energi khususnya listrik di Indonesia.

UU Ketenaganukliran yang telah berlaku selama 20 (dua puluh) tahun, sejak diundangkan sudah banyak memberikan manfaat dalam mengawal kegiatan ketenaganukliran di Indonesia dan memberikan jaminan keselamatan, keamanan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Walaupun fakta pada saat ini masih menunjukkan adanya dinamika dalam pelaksanaan kegiatan ketenaganukliran dengan mengutamakan pada keselamatan dan keamanan masih sangat kurang sehingga keefektifan implementasi UU Ketenaganukliran ini masih belum mencapai tujuan yang diharapkan.

#### IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi merupakan jawaban atas tantangan pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas sehingga diperlukan arahan pengembangan infrastruktur pendukung pengawasan;
2. Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi dapat meminimalisir terfragmentasinya kewenangan antar instansi pemerintah karena permasalahan tumpang tindihnya peraturan perundang-undangan. Ketika sudah diundangkan maka diharapkan koordinasi di antara instansi pemerintah dalam bidang

pemanfaatan dan pengawasan ketenaganukliran dapat berjalan optimal; dan

3. Tujuan dari pengawasan ketenaganukliran adalah terjaminnya keselamatan pemanfaatan tenaga nuklir. Dengan optimalnya pengawasan, maka pengambil keputusan dapat mengambil langkah strategis dalam upaya meraup manfaat ekonomi sebesar-besarnya dari tenaga nuklir.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN, Bapak Dr. Ir. Yudi Pramono, M. Eng, yang sudah mengizinkan penulis untuk menuangkan isi dari Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi ke dalam makalah ini, serta sudah membimbing penulis untuk menyelesaikan makalah ini. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada Bapak Kepala Sub Direktorat Pengaturan Instalasi Nuklir Nonreaktor, Bapak Widi Laksmo, ST, MT., yang selalu menyemangati penulis untuk selalu berfikir kritis dan maju. Terimakasih sebesar-besarnya juga penulis ucapkan khususnya kepada seluruh staf Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN atas kerjasama yang sangat baik sejak pertama kali penulis bekerja di BAPETEN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Malayu Hasibuan, SP (2001) *Manajemen, Dasar, Pengertian, dan Masalah*, Bumi Aksara, Jakarta.
- [2] Soewarno Handayani (1985) *Pengantar Studi Ilmu Administrasi dan Manajemen*, Gunung Agung, Jakarta.
- [3] T. Hani Handoko (1995) *Dasar-dasar Manajemen Produksi dan Operasi*. BPFE, Yogyakarta.
- [4] Republik Indonesia, Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, Setneg, Jakarta, 1997;
- [5] Republik Indonesia, Undang-Undang Nomor 39 Tahun 2008 tentang Kementerian Negara, Setneg, Jakarta, 2008;
- [6] Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2004 tentang Perubahan atas Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Departemen, sebagaimana telah beberapa kali diubah terakhir dengan Keputusan Presiden Nomor 30 Tahun 2003
- [7] Rancangan Peraturan Presiden tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Keselamatan Nuklir dan Radiasi.
- [8] <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian/manajemen/hhk/1971-75-masyarakat-indonesia-telah-siap-menerima-pltn>



## ANALISIS SPEKTRUM NEUTRON ELEMEN BAKAR TRIGA 2000 BANDUNG AKIBAT PERUBAHAN TEMPERATUR

Hidayati Amar, MT.

P2STPIBN - BAPETEN, Jakarta

e-mail: h.amar@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Analisis spektrum neutron elemen bakar TRIGA 2000 Bandung dengan modul PIJ SRAC2006 telah dilakukan. Tujuan dilakukannya analisis ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur dalam elemen bakar TRIGA 2000 Bandung terhadap spektrum neutronnya, fluks neutron dan tampang lintang makroskopiknya. Variasi temperatur elemen bakar yang dihitung adalah 300 K, 400 K, 500 K, 600 K, dan 700 K. Perhitungan dilakukan pada satu sel elemen bakar TRIGA Bandung tipe 20 – 20w/o. Hasil perhitungan didapatkan data tampang lintang makroskopik, spektrum neutron, dan fluks neutron. Didapatkan perubahan spektrum neutron pada daerah rentang energy termal. Begitu pula dengan fluks neutron dan data tampang lintang makroskopik fisinya berubah pada daerah rentang energi termal.

**Kata kunci:** Temperatur Elemen Bakar, TRIGA 2000 Bandung, Spektrum Neutron, SRAC2006

### ABSTRACT

*Neutron spectrum analysis of TRIGA 2000 Bandung fuel with SRAC2006 PIJ module has been performed. This analysis performed to find the neutron spectrum, neutron flux and macroscopic cross section data due to the fuel temperature change. The temperature variations are 300 K, 400 K, 500 K, 600 k and 700 K. the calculation performed on one 20 – 20 w/o fuel rod type. The results are macroscopic cross section data, neutron spectrum, and neutron flux. The result shows the difference on neutron spectrum in the thermal energy region. So does the neutron flux and fission neutron cross section change in thermal energy region.*

**Keywords:** Fuel Temperature, TRIGA 2000 Bandung, Neutron Spectrum, SRAC2006

## I. PENDAHULUAN

Perubahan temperatur pada elemen bakar nuklir merupakan obyek yang menarik untuk dikaji. Pada saat reaktor nuklir (baik reaktor riset ataupun reaktor daya) dioperasikan, akan terjadi reaksi nuklir dalam elemen bakar tersebut. Reaksi nuklir ini akan menghasilkan kalor yang kemudian dilepaskan ke lingkungan sekitar elemen bakar tersebut. Reaksi nuklir ini akan menyebabkan kenaikan temperatur dalam elemen bakar. Kenaikan temperatur ini mungkin akan mempengaruhi spektrum neutron, tampang lintang makroskopik serta fluks elemen bakar tersebut.

Pada kajian ini dilakukan perhitungan sel elemen bakar TRIGA 2000 Bandung dengan menggunakan program komputer SRAC2006 yang hasilnya berupa data tampang lintang makroskopik (dalam kajian ini yang dianalisa adalah tampang lintang makroskopik fisinya), spektrum neutron serta fluks neutronnya. Hasil perhitungan kemudian dianalisa bagaimana pengaruh perubahan temperatur elemen bakar TRIGA 2000 Bandung pada tampang lintang makroskopik fisi, spektrum neutron dan fluksnya. Pemodelan elemen bakar hanya dilakukan pada sel bahan bakar TRIGA Bandung tipe 20 – 20, elemen bakar tersebut mengandung 20 w/o uranium, yang telah diperkaya sampai 20%. Elemen bakar reaktor TRIGA yang berbentuk batang padat,

merupakan homogenisasi dari paduan uranium dan zirconium hidrida. Bagian aktif elemen bakar ini mempunyai diameter 3,75 cm dan tinggi 38,1 cm. Tujuan dilakukan analisis ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh perubahan temperatur elemen bakar TRIGA 2000 Bandung pada tampang lintang makroskopik fisi, spektrum neutron per lethargy serta fluks neutronnya.

## II. METODOLOGI PERHITUNGAN SPEKTRUM NEUTRON SEL BAHAN BAKAR TRIGA 2000 BANDUNG

### II.1. Spektrum Neutron

Salah hal penting dalam perhitungan neutronik elemen bakar nuklir adalah kajian tentang spektrum energi neutron. Pada reaktor termal pada umumnya spektrum neutron akan memiliki dua puncak, yaitu puncak pada rentang energi cepat dan puncak pada rentang energi termal.

Spektrum energi fluks neutron  $\phi(E)$ , disingkat sebagai spektrum neutron, adalah besaran yang menyatakan jumlah neutron (per satuan energi) yang berenergi disekitar E dan E+dE. Secara teoritis, neutron di dalam teras reaktor akan memiliki spektrum energi yang sangat luas, dari 0,0253 eV (neutron termal), bahkan lebih kecil lagi, sampai ke energi tinggi sekitar 17 MeV, bahkan lebih besar lagi. Akan tetapi secara

umum energi neutron akan terdistribusi atas tiga kelompok besar, yakni termal, menengah dan cepat [1].

Lethargy ( $u$ ) didefinisikan sebagai logaritma natural dari rasio energy maksimum yang mungkin dimiliki neutron di dalam reaktor nuklir ( $E_0$ ) dibandingkan dengan energy neutron ( $E$ ), maka lethargy adalah ukuran energi neutron. Energy neutron maksimum ( $E_0$ ) yang diambil adalah 10 MeV [2].

$$Lethargy = u = \ln\left(\frac{E_0}{E}\right) \quad (1)$$

Dengan menurunkan persamaan (II.1), maka dapat dihubungkan perubahan dalam energy dan perubahan dalam lethargy sebagai:

$$du = \frac{-dE}{E} \quad (2)$$

Perubahan yang kecil dari Lethargy dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta u = U_1 - U_2 = \ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (3)$$

## II.2. Fluks Neutron

Untuk neutron – neutron yang *monoenergetic*, reaksi F terkait dengan tampang lintang makroskopik  $\Sigma_i$  dan fluks  $\phi$  yang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$F = \Sigma_i \phi \quad (4)$$

Atau

$$F = \Sigma_i n v \quad (5)$$

Untuk meluaskan hasil persamaan diatas dengan melibatkan neutron yang memiliki distribusi energi. Maka dimisalkan  $n(E)$  didefinisikan sebagai kerapatan neutron per unit energi; yaitu  $n(E)dE$  adalah jumlah neutron per  $\text{cm}^3$  dengan energi antara  $E$  dan  $E+dE$ . Dari persamaan (5), laju interaksi untuk neutron monoenergetik tersebut adalah

$$dF = \Sigma(E) x n(E) dE x v(E) \quad (6)$$

Dengan ketergantungan terhadap energi dituliskan secara eksplisit. Laju interaksi total dituliskan dengan persamaan

$$F = \int_0^{\infty} \Sigma_t(E) n(E) v(E) dE = \int_0^{\infty} \Sigma_t(E) \phi(E) dE \quad (7)$$

Dengan  $\phi(E) = n(E)v(E)$  (8)

Persamaan (8) disebut *energy-dependent flux* atau fluks per unit energi. Limit pada integral dalam persamaan (7) dituliskan dengan besaran 0 dan  $\infty$  yang mengindikasikan bahwa integrasi dilakukan pada seluruh rentang energi neutron.

Persamaan (7) merujuk ke laju interaksi total (*total interaction rate*). Laju interaksi tertentu dapat ditemukan dari dengan cara yang sama[3]. Sehingga *scattering collision* per  $\text{cm}^3/\text{sec}$  adalah

$$F_s = \int_0^{\infty} \Sigma_s(E) \phi(E) dE \quad (9)$$

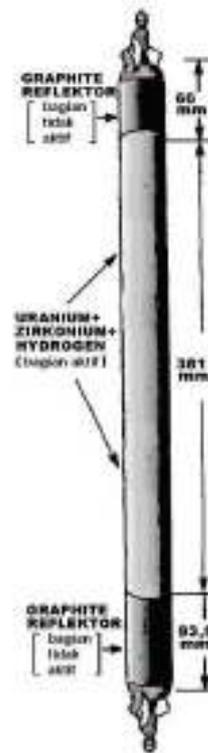
Jumlah neutron yang diserap per  $\text{cm}^3/\text{sec}$  adalah

$$F_a = \int_0^{\infty} \Sigma_a(E) \phi(E) dE \quad (10)$$

## II.3. Elemen Bakar TRIGA Bandung

Elemen bakar reaktor TRIGA yang berbentuk batang padat, merupakan homogen dari paduan uranium dan zirconium hidrida, dimana elemen bakar aktifnya mempunyai diameternya 3,75 cm dan 38,1

cm, dan di tengah elemen bakar aktif terdapat zirconium rod dengan diameter 0,3175 cm dan tinggi aktif yang sama dengan elemen bakar yaitu 38,1 cm. Ada 3 jenis elemen bakar yang digunakan dalam pengoperasian reaktor TRIGA 2000 Bandung ini yaitu tipe 8,5 – 20 (104), 12 – 20 (106) dan 20 – 20 (118)[4]. Ketiga elemen bakar tersebut masing – masing mengandung 8,5 w/o, 12 w/o dan 20 w/o uranium, yang telah diperkaya sampai 20%. Namun hanya elemen bakar jenis 20 – 20 yang digunakan dalam perhitungan ini. Yang digunakan sebagai inputan SRAC2006 adalah kerapatan atom (*atom density*) dalam satuan  $10^{24}$  atom/cc. Gambar elemen bakar TRIGA 2000 Bandung dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Elemen Bakar TRIGA 2000 Bandung [5]

## II.4. Pemodelan TRIGA Bandung dengan Modul PIJ SRAC2006

Perhitungan spektrum neutron dilakukan dengan memodelkan elemen bakar TRIGA Bandung sebagai sel yang kemudian dihitung dengan modul PIJ yang ada dalam SRAC2006. Elemen bakar yang dimodelkan dalam perhitungan ini hanya elemen bakar dan zirconium rod yang ada di tengah bahan bakar. Dari hasil perhitungan ini didapatkan data – data antara lain, data tampang lintang makroskopik material penyusun elemen bakar, fluks neutron, dan spektrum neutron per lethargy. Untuk hasil yang berupa data makroskopik ditampilkan dalam bentuk table sedangkan data yang berupa fluks neutron dan spektrumnya ditampilkan dalam bentuk grafik.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dengan menggunakan modul PIJ SARC2006 berupaampang lintang makroskopik yang disajikan adalahampang lintang makroskopik fisi dengan temperatur yang bervariasi antara 300 Kelvin sampai dengan 700 Kelvin. Grup energi 1 sampai 6 adalah termasuk dalam kelompok energi neutron cepat. Sedangkan grup energi 7 sampai

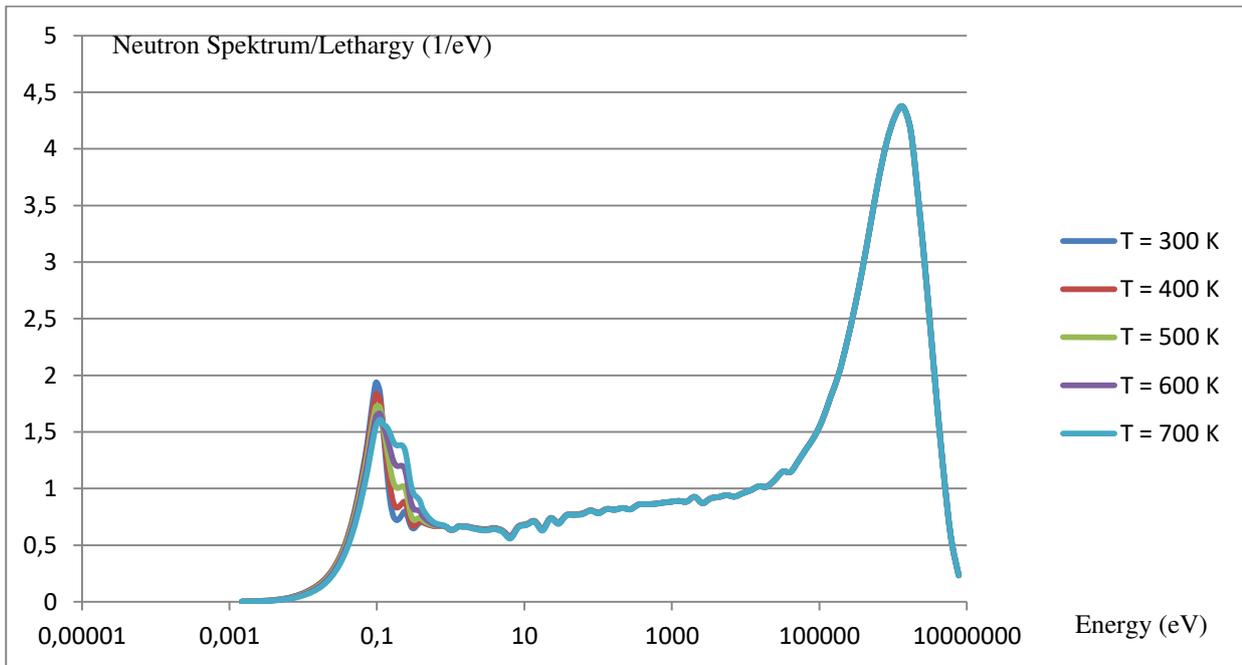
18 adalah kelompok energi neutron termal. Pada grup 1 sampai 6 nilaiampang lintang makroskopik pada temperatur yang berbeda tidak menunjukkan perbedaan, namun semakin rendah energinya nilaiampang lintang makroskopik fisi nya semakin besar jika dibandingkan pada energi tinggi (grup 1) dan nilaiampang lintang makroskopiknya berubah seiring dengan perubahan temperatur.

**Tabel 1.** Tabel Perbandingan Tampang Lintang Makroskopik Fisi

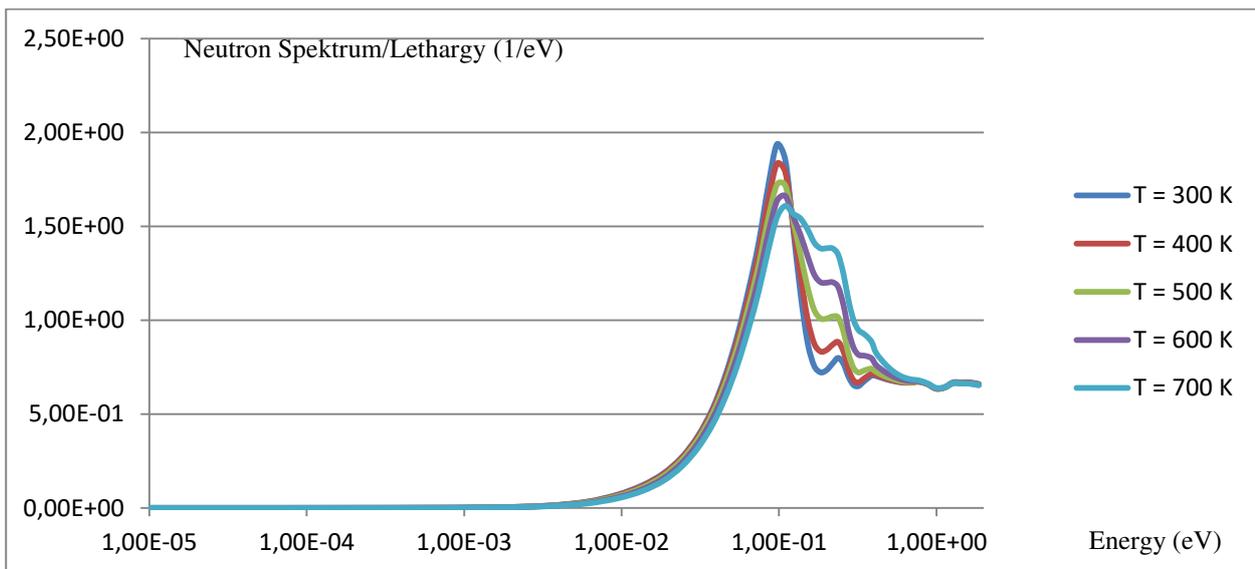
Kelompok Energi	Rentang Energi		Tampang Lintang Makroskopik Fisi (cm <sup>-1</sup> )				
			300 K	400 K	500 K	600 K	700 K
1	1,00E+07	8,21E+05	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017	0,0017
2	8,21E+05	6,74E+04	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
3	6,74E+04	5,53E+03	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
4	5,53E+03	4,54E+02	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048	0,0048
5	4,54E+02	3,73E+01	0,0153	0,0153	0,0153	0,0154	0,0154
6	3,73E+01	2,38E+00	0,0238	0,0239	0,0240	0,0241	0,0242
7	2,38E+00	1,44E+00	0,0096	0,0096	0,0096	0,0096	0,0096
8	1,44E+00	9,93E-01	0,0367	0,0367	0,0367	0,0367	0,0367
9	9,93E-01	6,02E-01	0,0375	0,0376	0,0376	0,0376	0,0376
10	6,02E-01	3,89E-01	0,0569	0,0570	0,0571	0,0573	0,0575
11	3,89E-01	2,98E-01	0,1016	0,1016	0,1018	0,1019	0,1021
12	2,98E-01	2,19E-01	0,1196	0,1195	0,1194	0,1193	0,1194
13	2,19E-01	1,52E-01	0,1156	0,1157	0,1157	0,1157	0,1157
14	1,52E-01	9,71E-02	0,1449	0,1443	0,1437	0,1431	0,1426
15	9,71E-02	5,45E-02	0,1956	0,1956	0,1957	0,1956	0,1956
16	5,45E-02	2,42E-02	0,2935	0,2935	0,2933	0,2931	0,2928
17	2,42E-02	5,98E-03	0,4993	0,4984	0,4973	0,4961	0,4952
18	5,98E-03	1,00E-05	1,0686	1,0693	1,0701	1,0708	1,0715

Gambar 2 menunjukkan gambar spektrum neutron per lethargy vs energi pada seluruh rentang energi neutron dari  $1.10^{-5}$  sampai  $1.10^7$  eV. Dalam grafik dibawah terdapat dua puncak pada grafik spektrumnya, yang merupakan ciri khas dari reaktor termal. Pada temperatur 300 K hingga 700 K, untuk daerah energi cepat tidak terdapat perubahan spektrum, sedangkan pada rentang energi termal terdapat pergeseran spektrum neutron yang dapat dilihat lebih jelas pada gambar 3. Puncak spektrum pada temperatur rendah (300 K) lebih rendah dibandingkan puncak spektrum pada temperatur

tinggi (700 K). Garis grafik untuk temperatur tinggi (700 K) bergeser ke rentang energi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan temperatur 300 K. Untuk pergeseran grafik spektrum pada tiap titik temperatur yang berbeda dapat dilihat pada gambar 2. Semakin tinggi temperatur elemen bakar semakin rendah puncaknya. Pada rentang energi 0,1 sampai 1 eV terjadi perbedaan pada variasi temperatur yang berbeda. Pada rentang energi ini, temperatur yang lebih tinggi justru memiliki spektrum neutron yang lebih tinggi dibandingkan dengan temperatur yang lebih rendah.



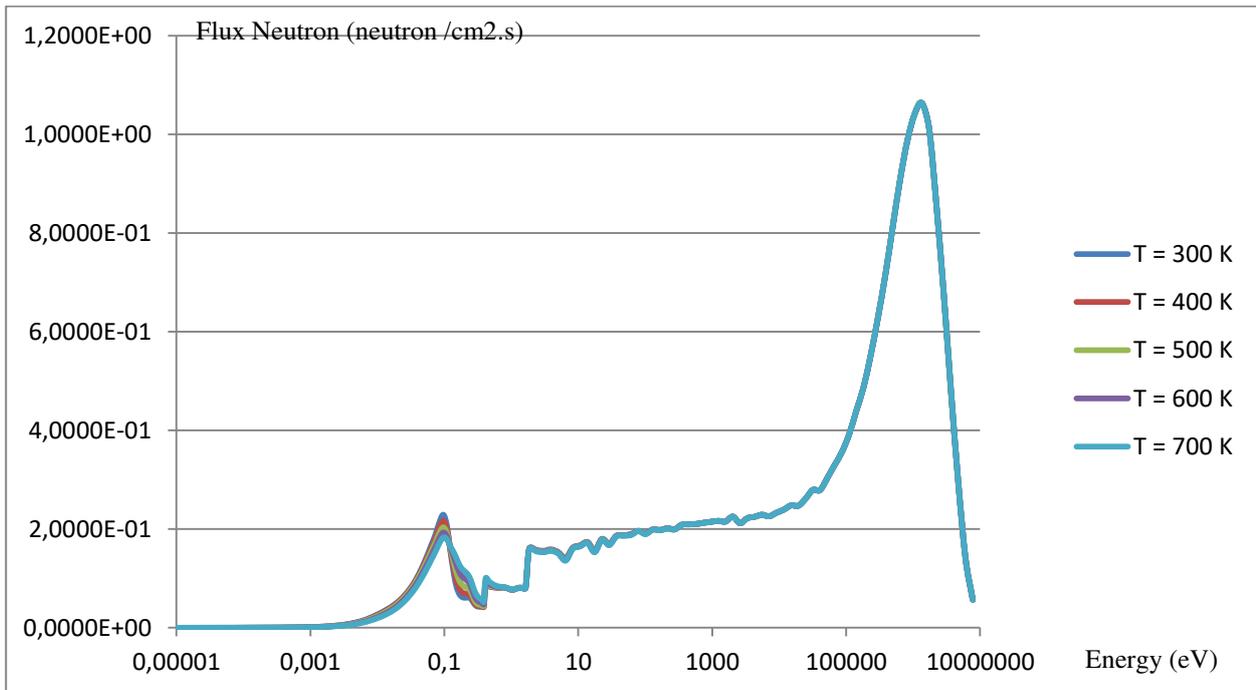
**Gambar 2.** Grafik Spektrum Neutron per Lethargy vs Energi pada seluruh rentang energi neutron



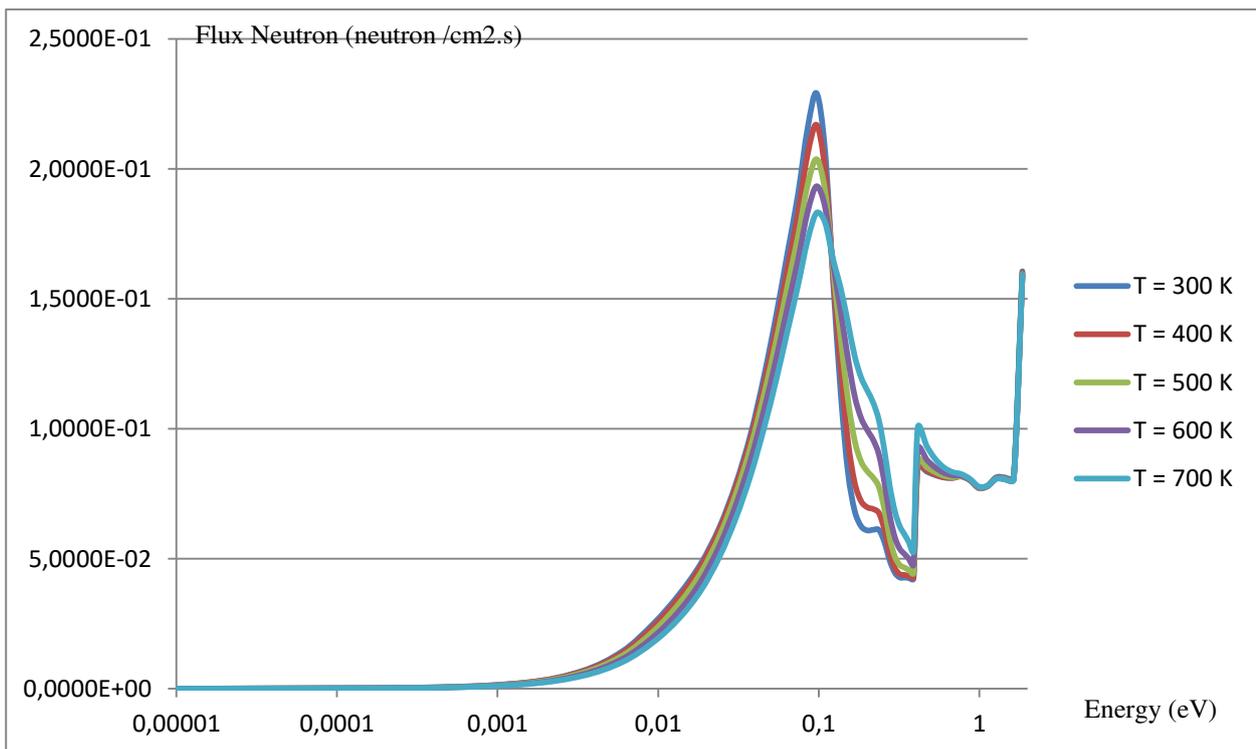
**Gambar 3.** Grafik Spektrum Neutron per Lethargy vs Energi pada rentang energy termal neutron

Pada gambar grafik fluks neutron vs energi, perubahan nilai fluks neutron akibat kenaikan temperatur dapat dilihat pada gambar 4. Pada rentang keseluruhan energi, pada daerah energi neutron cepat tidak terdapat perubahan fluks neutron akibat kenaikan temperatur pada bahan bakar. Sedangkan pada daerah energi termal, terdapat pergeseran puncak akibat kenaikan temperatur. Semakin tinggi temperatur, semakin rendah puncaknya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5. Jika dijumlahkan semua fluks di daerah termal, yaitu daerah pada energi 2,3824 eV sampai 0,00001 eV didapatkan nilai fluks neutron sebesar

3,7724 pada temperatur 300 K; 3,7933 pada temperatur 400 K; 3,8481 pada temperatur 500 K; 3,9282 pada temperatur 600 K dan 4,0220 K. Elemen bakar TRIGA 2000 Bandung dirancang untuk reaktor termal sehingga komposisi elemen bakar ini hanya bereaksi dengan neutron termal sehingga akan menghasilkan reaksi fisi pada rentang energi termal sehingga efek perubahan atau kenaikan temperatur akan terlihat pada rentang energi ini.



**Gambar 4.** Grafik Fluks Neutron vs Energi pada seluruh rentang energi neutron



**Gambar 5.** Grafik Fluks Neutron vs Energi pada seluruh rentang energi termal neutron

#### IV. KESIMPULAN

Hasil perhitungan didapatkan nilai tampang lintang makroskopik, spektrum neutron, dan fluks neutron. Untuk tampang lintang makroskopik fisi, pada rentang energi neutron cepat (pada grup energi 1) memiliki nilai tampang lintang makroskopik fisi yang sama pada semua temperatur yaitu sebesar 0,0017 barn. Sedangkan tampang lintang makroskopik fisi pada rentang energi neutron termal (grup energi 18) nilainya bervariasi pada tiap temperatur yaitu 1,0686

pada temperatur 300 Kelvin, 1,0701 pada temperatur 400 Kelvin, 1,0708 pada temperatur 500 Kelvin, 1,0708 pada temperatur 600 Kelvin, dan 1,7015 pada temperatur 700 Kelvin.

Untuk spektrum neutron per lethargy, pada daerah rentang energi cepat tidak ada perbedaan spektrum neutron per lethargy pada semua temperatur. Sedangkan pada daerah rentang energi termal terdapat perbedaan puncak pada masing – masing temperatur.

Semakin tinggi temperatur elemen bakar, semakin rendah puncak spektrumnya.

Untuk fluks neutron, pada daerah rentang energi cepat tidak ada perbedaan spektrum neutron per lethargy pada semua temperatur. Sedangkan pada rentang energi termal terdapat perbedaan nilai fluks neutron akibat kenaikan temperatur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putranto Ilham Yazid, (2003), Perhitungan Spektrum Energi Flux Neutron Reaktor TRIGA 2000 Bandung, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Vol. IV, edisi khusus 3, Agustus 2003.
- [2] K.S. Rajan, Neutron Spectrum and Cross Section, School of Chemical and Biotechnology, SASTRA University.
- [3] Duderstadt J.J., Hamilton L.J. R., (1976), *Nuclear Reaktor Analysis*, John Wiley and Sons, Michigan.
- [4] Hidayati Amar, (2016), Pengaruh Data Nuklir Pada Perhitungan Kritikalitas Reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan SRAC2006, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016 Bapeten hal. 21 – 1.
- [5] Sudjatmi K.A, (2013), Perhitungan Suhu Elemen Bakar Reaktor TRIGA 2000 dalam Tabung Sipping Test Menggunakan CFD, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Vol. 15 No. 1 Februari 2013, Hal. 51 – 62.



## KONSEP PENGEMBANGAN PENGATURAN PROTEKSI FISIK INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR SERTA PENGANGKUTAN BAHAN NUKLIR

Suci Prihastuti, Zulfiandri

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

e-mail : [s.prihastuti@bapeten.go.id](mailto:s.prihastuti@bapeten.go.id); [z.zulfiandri@bapeten.go.id](mailto:z.zulfiandri@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir telah diterbitkan pada 23 April 2012 dengan mengamanatkan 3 pasal pengaturan proteksi fisik, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir telah diterbitkan pada 16 Januari 2014 dengan mengamanatkan 7 Pasal pengaturan dokumen rencana proteksi fisik, dan Peraturan Pemerintah Nomor 58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif telah diterbitkan pada 10 Agustus 2015 dengan mengamanatkan 1 pasal pengaturan proteksi fisik. IAEA juga telah menerbitkan dokumen INFCIRC/225/Revision 5 guna mencegah meningkatnya ancaman terhadap instalasi dan bahan nuklir, akibat tindakan pencurian ataupun sabotase. Dokumen rencana proteksi fisik tersebut merupakan salah satu dokumen persyaratan izin yang wajib disampaikan ke badan pengawas guna mendapatkan persetujuan. Untuk memberikan informasi dan panduan yang jelas dan rinci bagi pemegang izin dalam menyusun dokumen proteksi fisik untuk instalasi dan bahan nuklir serta pengangkutan bahan nuklir berdasarkan amanah dari 3 (tiga) peraturan pemerintah dan hasil kajian/tinjauan terhadap dokumen IAEA terbaru maka disusun konsep pengembangan proteksi fisik dalam Peraturan Kepala BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN yang saat ini ada, yaitu Perka No.1 Tahun 2009 tentang Sistem Proteksi Fisik untuk Instalasi dan Bahan Nuklir sudah terbit lebih dari 5 tahun dan perlu direvisi. Makalah ini secara ringkas menyajikan tentang dokumen rencana proteksi fisik dan konsep pengembangan pengaturan terkait proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir termasuk pengangkutan bahan nuklir.

**Kata Kunci** : bahan nuklir, instalasi nuklir, pengangkutan, proteksi fisik

### ABSTRACT

*Government Regulation Number 54 Year 2012 on Safety and Security of Nuclear Installations has been published on April 23rd, 2012 by mandating 3 articles of physical protection regulations, Government Regulation Number 2 Year 2014 on Licensing for The Use of Nuclear Installation and Nuclear Material has been published on January 16th, 2014 by mandating 7 articles about documents of physical protection plan, and Government Regulation Number 58 Year 2015 on Radiation Safety and Security in Transportation of Radioactive Substances has been published on August 10th, 2015 by mandating 1 article of physical protection regulation. The IAEA has also published documents INFCIRC/225/Revision 5 to prevent increased threats to installation and nuclear materials, due to theft or sabotage. The document of physical protection plan is one of the permit requirements documents that must be submitted to the regulatory body for approval. In order to provide information and guidance to the license in preparing the physical protection document for nuclear installation and material also transportation of nuclear material based on the mandate of 3 (three) government regulations and results of the latest IAEA document review, then development concept for physical protection in BAPETEN Chairman Regulation is formulated. The current BAPETEN Chairman Regulation Number 1 Year 2009 on Physical Protection System for Nuclear Installation and Material has been published for more than 5 years and needs to be revised. This paper briefly presents about physical protection plan document and regulation development concept related physical protection of nuclear installation and material including transportation of nuclear material.*

**Keywords:** nuclear material, nuclear installation, transportation, physical protection

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang Undang Nomor 10 Tahun 1997, yang dimaksud Instalasi Nuklir adalah reaktor nuklir; fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan nuklir dan atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas; dan/atau fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar

nuklir bekas. Sedangkan pengertian bahan nuklir (BN) adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai[1].

Untuk mencegah pemindahan secara tidak sah terhadap bahan nuklir, menemukan kembali bahan nuklir yang hilang, mencegah sabotase terhadap

instalasi dan bahan nuklir, serta memitigasi konsekuensi yang ditimbulkan oleh sabotase diperlukan sistem proteksi fisik (SPF) terhadap instalasi dan bahan nuklir, sehingga diterbitkan Peraturan Kepala No. 1 Tahun 2009 tentang Sistem Proteksi Fisik untuk Instalasi dan Bahan Nuklir (Perka 1/2009)[2]. Perka 1/2009 disusun dari amanat Pasal 12 ayat (2) huruf f Peraturan Pemerintah (PP) No.43 Tahun 2006.

Saat ini Indonesia memiliki reaktor nondaya, yaitu 1 (satu) Reaktor Serbaguna Siwabessy (RSG) di Serpong, reaktor TRIGA Mark II di Bandung dan Reaktor Kartini di Yogyakarta, dan Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR), yaitu: Instalasi Elemen Bakar Eksperimental, Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset, Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas, Instalasi Radiometalurgi, dan fasilitas radioisotop.

Untuk memperoleh izin tapak, izin konstruksi dan/atau izin operasi gabungan serta komisioning, Pemegang izin dari instalasi nuklir harus memenuhi persyaratan administrasi dan teknis yang salah satunya adalah dokumen proteksi fisik. Dalam pengangkutan bahan nuklir juga memerlukan tindakan proteksi fisik guna memastikan keamanannya, sehingga BAPETEN sebagai badan pengawas perlu menerbitkan serangkaian peraturan terkait proteksi fisik.

Peraturan Pemerintah (PP) No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir mengamankan 3 pasal tentang tatacara pelaksanaan proteksi fisik[3]. Kemudian terbit PP No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dengan 7 pasal pengamanan pengaturan dokumen rencana proteksi fisik yang mencabut PP No.43 Tahun 2006[4]. Pada 10 Agustus 2015 diterbitkan PP No.58 Tahun 2015 yang mengamankan 1 pasal pengaturan tentang proteksi fisik[5].

IAEA juga telah mengeluarkan serangkaian publikasi tentang keamanan nuklir yang memberikan rekomendasi dan pedoman untuk dapat digunakan dalam menetapkan, melaksanakan dan memelihara keamanan nuklir nasional di negara masing-masing. Rekomendasi terbaru yang telah dikeluarkan IAEA adalah INFCIRC/225/Rev.5, menjelaskan tentang pemberlakuan proteksi fisik bahan nuklir terhadap pemindahan yang tidak sah dengan maksud untuk membuat senjata nuklir, dan proteksi fisik fasilitas nuklir dan bahan nuklir, termasuk sabotase selama pengangkutan[6].

Perka 1/2009 sekarang sudah terbit lebih dari 5 tahun sehingga perlu direvisi karena adanya amanah dari 3 peraturan pemerintah yang mengatur lebih luas tentang proteksi fisik di dalam instalasi nuklir dan pengangkutan bahan nuklir, serta adanya referensi terbaru dari IAEA maka diperlukan konsep pengembangan terhadap pengaturan SPF di Indonesia.

Tujuan makalah ini memberikan informasi dan panduan bagi pemegang izin melalui regulasi/pengaturan yang jelas dan rinci dalam penyusunan dokumen proteksi fisik dan konsep

pengembangan penerapan SPF di instalasi dan bahan nuklir serta pengangkutan bahan nuklir.

Dalam penyusunan makalah ini dilakukan dengan metode deskriptif melalui studi pustaka dengan tahapan langkah: pengumpulan literatur standar, peraturan perundang-undangan terkait pengumpulan informasi pendukung, analisis dan penyusunan makalah.

## II. TEORI

Sistem Proteksi Fisik yaitu kumpulan dari peralatan, instalasi, personil, dan prosedur yang secara bersama-sama memberikan proteksi fisik terhadap instalasi nuklir dan bahan nuklir. Kemudian yang dimaksud dengan Proteksi Fisik yaitu upaya yang ditujukan untuk mendeteksi dan mencegah pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan mencegah sabotase instalasi nuklir[3].

### Pengamanan Terkait Sistem Proteksi Fisik dalam Peraturan Pemerintah

PP No.54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir mengamankan dalam Pasal 45, 46, 49, 51 dan 59 tentang tata cara pelaksanaan Proteksi Fisik secara teknis di instalasi nuklir[3].

Kemudian salah satu syarat dokumen teknis yang harus disampaikan adalah rencana proteksi fisik sebagaimana tercantum pada PP No.2 Tahun 2014 dalam Pasal 9, Pasal 10, dan Pasal 11 guna memperoleh izin konstruksi, izin komisioning, dan izin operasi untuk fasilitas reaktor daya. Sedangkan untuk Instalasi Nuklir Non Reaktor dalam Pasal 59, Pasal 60, Pasal 61, Pasal 99 disebutkan untuk mendapatkan izin konstruksi, izin komisioning, izin operasi, dan untuk perpanjangan izin operasi Instalasi Penyimpanan Lestari untuk Bahan Bakar Nuklir Bekas. Dilanjutkan dalam PP yang sama, Pasal 108 menjelaskan persyaratan teknis izin pemanfaatan bahan nuklir dan Pasal 118 berkaitan pengiriman kembali bahan bakar nuklir bekas harus menyampaikan rencana proteksi fisik[4].

Peraturan Pemerintah lainnya No. 58 tahun 2015 mengamankan 1 Pasal pengaturan mengenai kewajiban pengirim menyusun rencana proteksi fisik sebelum melaksanakan pengangkutan, yaitu Pasal 58 untuk pengangkutan Bahan Fisil dan UF<sub>6</sub> yang merupakan bahan nuklir[5].

### Hasil Kajian INFCIRC/225/Revision 5

Pada tahun 2015, Perka 1/2009 oleh P2STPIBN telah dikaji kemampuserapannya dan telah dibandingkan dengan dokumen IAEA Nuclear Security Series No. 13 tentang *Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities* atau INFCIRC/225/Revision 5 yang menghasilkan beberapa rekomendasi untuk pengembangan pengaturan pengawasan terkait proteksi fisik, meliputi[7]:

- (1) *Cyber Security* / Keamanan dunia maya;
- (2) *Insider threat* / ancaman penyusupan;
- (3) Transportasi bahan nuklir;

- (4) Manajemen resiko;
- (5) *Graded approach* / pendekatan bertingkat;
- (6) *Defence in depth*/pertahanan berlapis;
- (7) *Performance testing*/uji kinerja;
- (8) *Nuclear security culture*/budaya keamanan nuklir;
- (9) *Airborne threat*/ancaman dari udara.

### III. PEMBAHASAN

#### III.1. Umum

Perka 1/2009 yang ada sudah terbit lebih dari 5 tahun sehingga perlu direvisi dan dikembangkan. Pengembangan pengaturan SPF dimulai dari objek/kegiatan yang diperluas yaitu untuk instalasi nuklir, termasuk instalasi radiometalurgi; bahan nuklir selama penelitian dan pengembangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan termasuk produksi radioisotop dan pengoperasian reaktor.

Pengembangan pengaturan tentang proteksi fisik menjadi penting dalam memandu PI menyusun dokumen proteksi fisik yang menjadi salah satu syarat dalam pengajuan izin ke BAPETEN, memudahkan

evaluator dalam mengevaluasi dokumen PF karena keseragaman format untuk IBN dan pengangkutan, dan memastikan pemanfaatan bahan nuklir hanya untuk maksud damai.

Di dalam pengembangan pengaturan SPF dijelaskan ketentuan-ketentuan proteksi fisik wajib berlaku dalam setiap tahap instalasi nuklir, adanya hubungan klasifikasi bahan nuklir dengan kategori bahaya radiasi, ditambahkan pengaturan bab tersendiri tentang inspeksi proteksi fisik, dan adanya kewajiban PI melakukan perhitungan probabilitas efektifitas SPF. Rekomendasi dari hasil kajian INFCIRC/225/Revision 5 diterima dan diuraikan dalam klausul pasal-pasal dan lampirannya. Terkait ancaman penyusupan, di dalam INFCIRC/225/rev.5 hanya disebutkan insider/orang dalam didefinisikan sebagai satu/lebih individu dengan wewenang akses yang berwenang terhadap fasilitas nuklir yang bisa melakukan pencurian atau sabotase, atau yang bisa membantu musuh eksternal untuk melakukannya.

Tabel 1. Klasifikasi Bahan Nuklir

Bahan	Uraian	Golongan			
		I	II	III	IV
1. Plutonium	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan $\leq 1$ gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus	$\geq 2$ kg	$500 \text{ g} < \text{Pu} < 2$ kg	$15 \text{ g} < \text{Pu} \leq 500$ g	$1 \text{ g} < \text{Pu} \leq 15$ g
2. Uranium-235	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan $\leq 1$ gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus – Uranium diperkaya $\geq 20\%$ U-235 – Uranium diperkaya antara $10\%$ - $20\%$ U-235 – Uranium diperkaya di atas uranium alam, tetapi kurang dari $10\%$ U-235	$\geq 5$ kg – –	$1 \text{ kg} < \text{U} < 5$ kg $\geq 10$ kg –	$15 \text{ g} < \text{U} \leq 1$ kg $1 \text{ kg} < \text{U} < 10$ kg $\geq 10$ kg	$1 \text{ g} < \text{U} \leq 15$ g $1 \text{ g} < \text{U} \leq 1$ kg $1 \text{ g} < \text{U} < 10$ kg
3. Uranium-233	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan $\leq 1$ gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus	$\geq 2$ kg	$500 \text{ g} < \text{U} < 2$ kg	$15 \text{ g} < \text{U} \leq 500$ g	$1 \text{ g} < \text{U} \leq 15$ g
4. U-alam, U-depleksi, Th dan limbah bahan nuklir curah	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan $\leq 1$ gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus	–	–	$\geq 500$ kg	$1 \text{ kg} < \text{U/Th} < 500$ kg
5. Bahan bakar teriradiasi (U-alam, U-depleksi, Th atau bahan bakar diperkaya $<10\%$ )	– untuk pengangkutan – untuk penyimpanan / penggunaan	-- --	Tidak dibatasi jumlahnya --	-- Tidak dibatasi jumlahnya	-- --

Insiders mungkin termasuk, namun tidak terbatas pada: manajemen, karyawan biasa, penyedia layanan, pengunjung dan inspektur. Di dalam pengembangan ini diuraikan lebih rinci untuk mencegah insider, adanya keharusan organisasi dan personel SPF memiliki tingkat kepercayaan yang dilakukan melalui pemeriksaan dokumen, wawancara, survei lingkungan tempat tinggal atau lingkungan kerja, dan penilaian perilaku sehari-hari; integritas kerja diuji melalui tes psikologi, dan hasil capaian kinerja; dan kemampuan fisik dibuktikan dengan pemeriksaan kesehatan dan penilaian perilaku dilakukan oleh petugas yang terlatih.

#### III.2. Sistem Proteksi Fisik

Pengembangan pengaturan untuk menerapkan SPF diwajibkan dalam setiap tahapan instalasi nuklir mulai dari tapak sampai dekomisioning. Pemegang izin (PI) memiliki kewajiban yang meliputi:

- pemantauan tapak sebelum desain dan konstruksi dengan menetapkan dokumen kerawanan fasilitas atau ancaman dasar desain (ADD) yang bersifat rahasia.
- selama desain dan konstruksi sebelum ada bahan nuklir kewajiban PI bertambah dengan menetapkan rencana Proteksi fisik dan Uji fungsi SPF.
- selama komisioning dan operasi, harus melaksanakan pelatihan dan/atau gladi kontijensi.
- setelah dekomisioning bahan nuklir dipindahkan maka terdapat kewajiban penyampaian deklarasi jika terjadi perubahan peralatan terkait nuklir.

SPF yang disusun oleh PI harus memuat fungsi utama meliputi deteksi, penundaan, dan respons. Dan berdasarkan rekomendasi dari hasil kajian, dikembangkan pengaturan dalam menyusun dan melaksanakan SPF meliputi:

pembagian daerah yang mengacu pada klasifikasi bahan nuklir seperti di uraikan dalam Tabel 1 dan/atau

kategorisasi potensi bahaya radiasi seperti di uraikan dalam Tabel 2,

**Tabel 2.** Kategorisasi Bahaya Radiasi

Kategori	Bahaya Radiasi	Fasilitas Radiasi / Instalasi Nuklir
I	Instalasi atau fasilitas dengan potensi bahaya sangat besar yang dapat menghasilkan lepasan radioaktif yang memberikan efek deterministik parah di luar tapak	<ol style="list-style-type: none"> <li>reaktor dengan daya lebih besar dari 100 MWt (contoh: reaktor daya, reaktor nondaya)</li> <li>fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas jenis kolam yang memiliki nilai potensi bahaya setara dengan teras reaktor untuk daya yang lebih besar atau sama dengan 3000 MWt inventori zat radioaktif dengan nilai lebih besar atau sama dengan 10000 kali A/D2 (contoh: daur ulang bahan bakar bekas)</li> </ol>
II	Instalasi atau fasilitas dengan potensi bahaya yang menghasilkan lepasan radioaktif dengan dosis di atas nilai yang diizinkan tetapi tidak memberikan efek deterministik parah di luar tapak	<ol style="list-style-type: none"> <li>reaktor dengan daya lebih besar dari atau sama dengan 2 MWt tetapi lebih kecil dari atau sama dengan 100 MWt (contoh: reaktor daya dan reaktor nondaya)</li> <li>fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas jenis kolam yang memiliki nilai potensi bahaya setara dengan teras reaktor untuk daya lebih besar dari 10 dan lebih kecil dari 3000 MWt inventori zat radioaktif dengan nilai lebih besar atau sama dengan 10 kali dan lebih kecil dari 10000 kali A/D2</li> </ol>
III	Instalasi atau fasilitas dengan potensi bahaya tidak memberikan dampak di luar tapak tetapi berpotensi memberikan efek deterministik di dalam pada tapak.	<ol style="list-style-type: none"> <li>reaktor dengan daya lebih kecil dari 2 MWt</li> <li>fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas kering</li> <li>fasilitas produksi radioisotop</li> <li>fasilitas iradiator kategori IV dengan zat radioaktif terbungkus</li> <li>fasilitas radioterapi</li> <li>radiografi industri fasilitas tertutup</li> <li>fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir inventori zat radioaktif dengan nilai lebih besar atau sama dengan 0,01 kali dan lebih kecil dari 10 kali A/D2 (contoh: instalasi radio metalurgi, instalasi elemen bakar eksperimental)</li> </ol>
IV	Kegiatan yang dapat menyebabkan kedaruratan nuklir pada lokasi yang tidak dapat diperkirakan, termasuk pengangkutan dan kegiatan yang melibatkan zat radioaktif yang bergerak (mobile)	<ol style="list-style-type: none"> <li>radiografi industri fasilitas terbuka</li> <li>well logging</li> <li>fasilitas gauging industri yang bergerak (mobile) dengan zat radioaktif aktivitas tinggi</li> <li>transportasi bungkusan Tipe B</li> <li>transportasi bungkusan Tipe C</li> <li>transportasi bungkusan yang berisi bahan nuklir</li> <li>transportasi bungkusan dengan pengaturan khusus sumber berbahaya yang hilang atau dicuri</li> <li>kapal bertenaga nuklir</li> </ol>
V	Kegiatan yang tidak melibatkan sumber radiasi pengion, tetapi menghasilkan produk yang dapat terkontaminasi akibat kecelakaan yang terjadi pada instalasi atau fasilitas kategori bahaya radiologi I atau II, baik di dalam maupun di luar batas negara.	<ol style="list-style-type: none"> <li>kontaminasi dari daerah perbatasan dengan Negara lain</li> <li>impor bahan-bahan terkontaminasi</li> </ol>

- penerapan konsep pendekatan bertingkat
- pertahanan berlapis untuk tindakan pencegahan dan perlindungan; dan
- penerapan konsep manajemen risiko.

Untuk mendapatkan persetujuan dalam rangka memenuhi persyaratan izin, SPF dalam bentuk dokumen rencana proteksi fisik yang bersifat rahasia wajib disampaikan ke badan pengawas dengan rincian seperti diuraikan pada Tabel 3.

Apabila terjadi perubahan akibat perubahan ADD, klasifikasi BN dan kategorisasi bahaya, PI harus menyampaikan dokumen SPF terbaru ke badan pengawas untuk mendapatkan persetujuan.

Dalam hal menyusun rencana kontinjensi instalasi nuklir, PI mempunyai kewajiban bekerjasama dengan instansi terkait yang berisi tindakan untuk menemukan dan mengembalikan bahan nuklir yang hilang atau dicuri dengan melakukan konfirmasi, mencari dan menemukan BN yang hilang. Dan selama periode perawatan dan *shutdown* reaktor, kendali akses SPF harus diperketat untuk mencegah sabotase.

Pemegang Izin harus menetapkan SPF untuk pengangkutan bahan nuklir berdasarkan kajian kerawanan fasilitas atau ADD dalam dokumen rencana proteksi fisik pengangkutan bahan nuklir untuk mencegah tindakan pemindahan tidak sah dan sabotase. Dan sebelum melaksanakan pengangkutan dilakukan koordinasi dengan gugus perespons dengan tanggung jawab pelaksanaan ada di pengirim.

**Tabel 3.** Dokumen Rencana Proteksi Fisik

BAB	INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR	PENGANGKUTAN
I	Pendahuluan	Pendahuluan
II	ADD atau dokumen kerawanan fasilitas	ADD/dokumen kerawanan pengangkutan
III	Organisasi dan personil SPF	Organisasi dan personil SPF pengangkutan
IV	Target ancaman	Tata laksana pengangkutan
V	Desain dan pembagian daerah	Sistem komunikasi selama pengangkutan
VI	Sistem deteksi	Peralatan proteksi fisik selama pengangkutan
VII	Sistem penundaan	Rencana kontinjensi

		pengangkutan
VIII	Sistem pendukung	
IX	Respons	
X	Perawatan dan uji fungsi	
XI	Prosedur proteksi fisik	
XII	Rencana kontinjensi	
XIII	Budaya keamanan	
XIV	Kerahasiaan informasi	

Pelaksanaan proteksi fisik selama pengangkutan bahan nuklir sangat penting dilaksanakan, dengan beberapa pertimbangan yaitu:

- mempersingkat waktu pengangkutan,
- minimalkan durasi pemindahan atau transit,
- perlindungan selama pengangkutan dan lokasi transit sesuai dengan klasifikasi bahan nuklir,
- pemastian personil yang terlibat dapat dipercaya,
- pembatasan informasi pengangkutan,
- pengawasan dan penjagaan terus menerus,
- penggunaan jalur komunikasi yang aman dan sandi,
- menghindari penggunaan jadwal pengangkutan yang mudah diprediksi dengan pemilihan waktu dan rute yang mempertimbangkan keamanan.

Ketentuan untuk penggunaan, penyimpanan, bahan nuklir golongan I, II, III, dan IV harus dibuat oleh Pemegang Izin, seperti ditunjukkan Tabel 4.

**Tabel 4.** Penggunaan dan Penyimpanan Bahan Nuklir

Gol. BN	Penyimpanan dan Penggunaan Bahan Nuklir sekurang-kurangnya
IV	Di dalam ruangan yang terpantau dan dilengkapi dengan peralatan kendali akses
III	Di daerah akses terbatas yang dilengkapi sistem proteksi penyusupan dengan alarm
II	Di daerah terproteksi dan daerah terproteksi harus berada di dalam daerah akses terbatas
I	Di daerah dalam yang jauh dengan daerah publik

### III.3. Inspeksi Proteksi Fisik

Pengembangan pengaturan lainnya yaitu adanya inspeksi SPF yang meliputi:

- pemberian akses kepada badan pengawas untuk melaksanakan inspeksi proteksi fisik di instalasi nuklir dan selama pengangkutan bahan nuklir dilakukan secara berkala dan sewaktu-waktu dengan/tanpa pemberitahuan sebelumnya,
- lingkup inspeksi: verifikasi pemenuhan peraturan perundangan dan pelaksanaan rencana proteksi fisik.
- perlunya persetujuan Kepala BAPETEN untuk inspeksi dari badan pengawas negara lain dalam rangka impor bahan nuklir.

Pengembangan pengaturan SPF lainnya terkait pedoman budaya keamanan nuklir menjelaskan tentang pembatasan personel dalam berkomunikasi

hanya kepada orang yang berwenang dan mewajibkan personel untuk mampu mendeteksi dan segera merespons insiden dan ancaman yang telah terjadi ataupun yang baru terindikasi, serta memberikan acuan dan arahan dalam perencanaan dan pelaksanaan manajemen yang efektif untuk menumbuhkan kesadaran dan keyakinan setiap individu tentang pentingnya keamanan nuklir, dan menumbuhkembangkan budaya keamanan nuklir secara kolektif di tingkat organisasi.

Bab terakhir pengembangan pengaturan adalah ketentuan penutup/peralihan dalam melaksanakan SPF paling lambat 1 tahun dari tanggal pengundangan. Dan setelah pengembangan SPF dalam bentuk Perka BAPETEN disetujui dan diundangkan, maka secara langsung akan mencabut Perka No.1/2009.

### IV. KESIMPULAN

1. Perka No.1/2009 tentang SPF Instalasi dan Bahan Nuklir sudah terbit lebih dari 5 tahun, perlu direvisi dan dikembangkan.
2. Konsep pengembangan pengaturan SPF yang lebih rinci disusun berdasarkan hasil tinjauan, rekomendasi kajian dari dokumen IAEA INFCIRC/225/Revision 5 terbaru, dan amanah dari 3 (tiga) Peraturan Pemerintah.
3. Pengembangan pengaturan SPF dalam bentuk Peraturan Kepala BAPETEN dapat memberikan informasi dan panduan bagi PI dalam menyusun dokumen rencana proteksi fisik dan mengembangkan SPF di instalasi dan bahan nuklir serta pengangkutan bahan nuklir guna menjamin keamanannya.
4. Konsep pengembangan pengaturan SPF dalam bentuk Perka BAPETEN tentang SPF menjadi sangat penting untuk segera diundangkan.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng selaku Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir dan Bambang Eko Aryadi, ST, MT selaku Kepala Subdit Pengaturan Reaktor Daya atas waktu dan bimbingannya untuk penulisan makalah ini.

### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN. (1997). *Undang-undang No.10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*. Jakarta.
- [2] BAPETEN. (2009). Peraturan Kepala No. 1 Tahun 2009 Tentang Sistem Proteksi Fisik untuk Instalasi dan Bahan Nuklir. Jakarta.
- [3] BAPETEN. (2012). Peraturan Pemerintah 54 Tahun 2012 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Jakarta.
- [4] BAPETEN. (2014). Peraturan Pemerintah No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Jakarta.
- [5] BAPETEN. (2015). Peraturan Pemerintah No.58 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. Jakarta.

- [6] IAEA. (2011). Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Security Series No. 13. Vienna.
- [7] Dewanto, P., & Aryadi, B. E. (2016). Kajian revisi Peraturan Kepala BAPETEN Tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. Jakarta: Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN.



## KESELAMATAN PENANGANAN DAN PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS REAKTOR BERPENDINGIN GAS / *HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR* (HTGR) DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS, LEGAL, DAN KEBIJAKAN STRATEGI NASIONAL

**Pandu Dewanto, Agus Yudhi Pristianto**

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: [p.dewanto@bapeten.go.id](mailto:p.dewanto@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Reaktor daya non komersial - RDNK yang akan dibangun di Indonesia direncanakan berjenis *High Temperature Gas Reactor* (HTGR). Bahan bakar yang telah keluar dari reaktor memiliki karakteristik yang sangat berbeda bila dibandingkan dengan bahan bakar sebelum memasuki reaktor. Hal ini menyebabkan bahan bakar bekas membutuhkan suatu penanganan dan penyimpanan khusus dengan alasan keselamatan (paparan radiasi yang tinggi, potensi terjadinya kecelakaan kekritisan, potensi adanya ancaman sabotase dan lainnya). Karenanya tujuan dari penulisan makalah ini adalah perlu kiranya dilakukan suatu kajian keselamatan penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas RDNK, dengan membahas serta menelaah aspek keselamatan pada Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Bekas HTGR ditinjau dari aspek teknis, legal, dan kebijakan nasional. Diharapkan dengan tulisan ini dapat memenuhi semua aspek keselamatan yang dipersyaratkan berdasarkan peraturan perundang-undangan, penanganan dan penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas.

**Kata kunci:** HTGR, Bahan Bakar Bekas, Keselamatan

### ABSTRACT

*The non-commercial power plant –RDNK that to be built in Indonesia are High Temperature Gas Reactor (HTGR) type. The fuel that has been generated from the reactor has different characteristics when compared to the fresh fuel. This causes the spent fuel require special handling and storage for safety reasons against radiation exposure, criticality, sabotage and so forth. Therefore the purpose this paper is to conduct a review of the safety of handling and storage of RDNK spent fuel, by discussing and reviewing the safety aspects of Handling and Storage of HTGR spent fuel in terms of technical, legal, and national policies. It is hoped that this paper can meet all aspects of safety required by law.*

**Keywords:** HTGR, Spent fuel, Safety

## I. PENDAHULUAN

Reaktor daya non komersial (RDNK) yang akan dibangun di Indonesia direncanakan berjenis *High Temperature Gas Reactor* (HTGR) khususnya *Pebble Bed Modular Reactor* (PBMR). Reaktor ini menggunakan bahan bakar berbentuk bola-bola kecil yang terdiri dari tiga lapisan penghalang (TRISO) yang kemudian dibentuk menjadi bola lebih besar atau disebut dengan *pebble*. Jumlah bola-bola bahan bakar tersebut dalam suatu reaktor PBMR dengan daya 10 MWth adalah sekitar 17000 buah bahan bakar berbentuk bola. Permasalahan yang timbul disini adalah dengan jumlah bahan bakar berbentuk bola yang mencapai puluhan ribu akan diperlukan suatu sistem penanganan dan juga penyimpanan bahan bakar bekas yang memperhitungkan potensi bahaya yang terjadi diantaranya seperti paparan radiasi yang tinggi, potensi terjadinya kecelakaan kekritisan, potensi adanya ancaman sabotase dan lainnya.

Bahan bakar setelah digunakan di reaktor akan dikeluarkan untuk kemudian disimpan selama rentang waktu tertentu dengan suatu sistem tertentu. Bahan bakar yang telah keluar dari reaktor memiliki

karakteristik yang sangat berbeda bila dibandingkan dengan bahan bakar sebelum memasuki reaktor. Hal ini menyebabkan bahan bakar bekas membutuhkan suatu penanganan dan penyimpanan khusus dengan alasan keselamatan terhadap paparan radiasi.

Penanganan dan penyimpanan bahan bakar nuklir bekas harus dapat memenuhi semua aspek keselamatan berdasarkan peraturan perundang-undangan. Karenanya tujuan dari penulisan makalah ini adalah perlu kiranya dilakukan suatu Kajian Keselamatan Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Bekas RDNK, dengan membahas serta menelaah aspek keselamatan pada Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Bekas HTGR ditinjau dari aspek teknis, legal, dan kebijakan nasional.

## II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah dengan cara studi literatur terhadap berbagai dokumen yang terkait dengan penyimpanan dan penanganan bahan bakar bekas HTGR. Pada makalah ini, hanya akan dibahas tinjauan keselamatan

terkait Aspek Teknis, Aspek Legal dan Aspek kebijakan atau Strategi Nasional.

### III. POKOK BAHASAN

Pada penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas, berbagai aspek perlu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan dalam penanganan dan pengelolaan bahan bakar bekas dalam kaitannya dengan peraturan perundangan di Indonesia. Berbagai aspek yang dipertimbangkan dalam melakukan tinjauan keselamatan diantaranya: Aspek Teknis, Aspek Legal dan Aspek kebijakan atau Strategi Nasional.

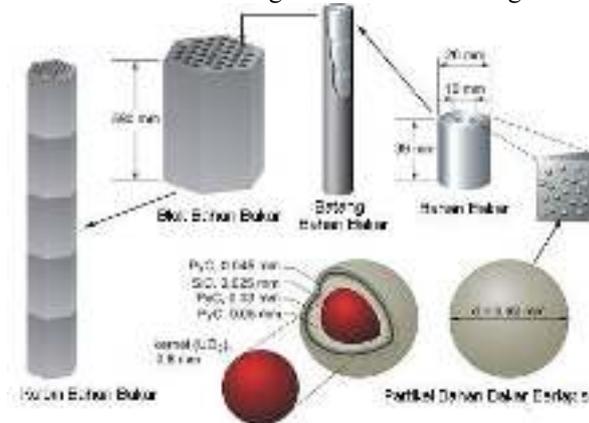
#### A. Aspek Teknis

Aspek teknis yang perlu diperhatikan terkait dengan keselamatan penangan dan penyimpanan bahan bakar bekas yaitu:

##### 1. Jenis Bahan Bakar HTGR

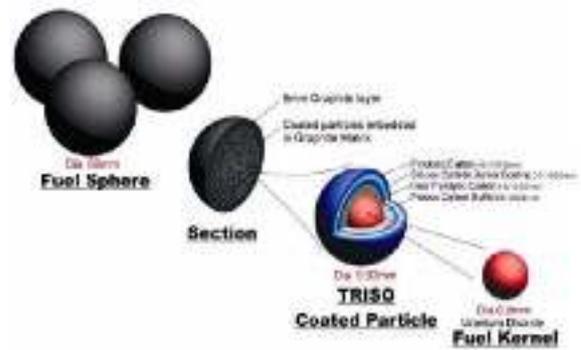
Terdapat dua jenis bahan bakar HTGR yaitu prismatic dan *pebble bed*. Pada tipe prismatic, sejumlah partikel TRISO terdispersi dalam elemen bakar silindris, dimasukkan ke dalam blok grafit berbentuk heksagonal. Sedangkan dalam tipe *pebble bed*, partikel TRISO dengan jumlah tertentu didispersikan ke dalam bahan bakar pebble berbentuk bola.

Bahan bakar prismatic terdiri dari blok yang besar dengan pola teratur dan lubang-lubang pendingin. Partikel bahan bakar berlapis dimasukkan dalam bahan bakar kompak silindris, gambar 1, yang kemudian dimasukkan dalam blok grafit berbentuk heksagonal



Gambar 1. Bahan Bakar HTGR Jenis Prismatic [10]

Bahan bakar *pebble* terdiri dari partikel bahan bakar berlapis yang kompak, dalam suatu cangkang berbentuk bola, gambar 2. Dalam setiap bahan bakar pebble terdapat sekitar 104 partikel berlapis berdiameter 0,92 mm yang terdispersi secara merata dalam matriks grafit untuk membentuk zona bahan bakar berdiameter 5 cm yang dilapisi grafit dengan ketebalan 0,5 cm, dan setiap hari sekitar 350 bahan bakar dikeluarkan.



Gambar 2. Bahan Bakar HTGR Pebble Bed. [4]

Partikel berlapis ini memiliki beberapa peran yang sangat penting diantaranya untuk mengungkung produk fisi agar tetap berada didalam kernel bahan bakar serta memberikan kekuatan mulur ataupun mengerut sewaktu mengalami iradiasi. Ketika telah menjadi partikel berlapis TRISO, maka partikel berlapis TRISO ini dapat digunakan untuk membentuk bahan bakar prismatic ataupun pebble bed.

Fungsi dari lapisan-lapisan yang terdapat pada partikel berlapis TRISO adalah sebagai berikut :

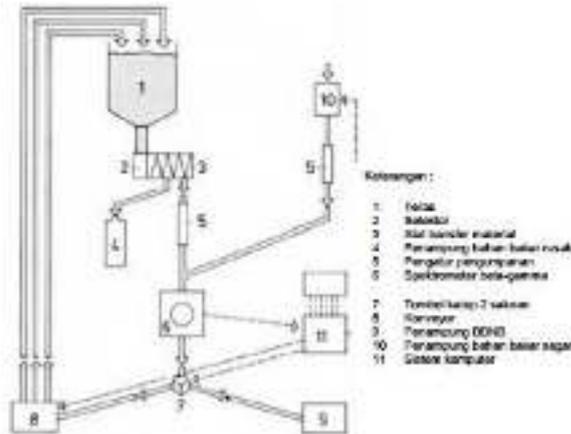
- Lapisan buffer berpori : lapisan untuk menghentikan energi produk fisi sehingga melindungi IPyC dari kerusakan radiasi, dan memberikan volume kosong yang cukup untuk mengakomodasi gas produk fisi dan pembengkakan kernel.
- Lapisan IPyC : penghalang bagi difusi gas produk fisi dan gas klorine, yang dihasilkan sewaktu proses deposisi SiC, infiltrasi ke dalam kernel; dan membantu menjaga lapisan SiC sewaktu kompresi.
- Lapisan SiC : pembatas utama tekanan, menahan produk fisi logam, dan memberikan kekuatan.
- OPyC : penghalang gas produk fisi, mengurangi stress/tegangan tarik pada lapisan SiC dan membentuk ikatan permukaan material overcoating atau matriks.

##### 2. Sistem penanganan *loading-unloading* elemen bakar

Di dalam operasi reaktor tipe HTR-10, loading bahan bakar kernel dilakukan secara otomatis melalui sistem *loading-unloading pneumatik*. Setiap jam terdapat 150 buah elemen bakar disirkulasikan dalam sistem tersebut dimana ada 3 elemen bakar baru di dalamnya. Setiap elemen bakar tersirkulasi hingga 10 kali. Elemen bakar tersebut akan melewati alat spektrometri  $\gamma$  untuk pengukuran radiasi  $\gamma$  dari Cs sebagai kontrol atau pengecekan tingkat burn-up dari elemen bakar. Bila burn-up dari elemen bakar kernel telah mencapai lebih dari 10 % maka elemen bakar itu dikeluarkan sebagai bahan bakar bekas. Elemen bakar tersebut di dalam sirkulasinya melewati alat radiografi untuk pengecekan keutuhannya. Bila elemen bakar telah mengalami kerusakan maka elemen bakar tersebut akan dikeluarkan dan menjadi Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB).

Sistem penanganan *loading-unloading pebble* elemen bakar dengan sistem control otomatisnya ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa pebel elemen bakar yang keluar dari teras reaktor (1) melewati selector (2) yang menetapkan pebble rusak atau masih utuh. Bila pebble telah rusak maka alat transfer (3) akan

mengirim pebble ke penampung bahan bakar rusak (4). Selektor (2) merupakan alat radiografi yang dapat mendeteksi tingkat kerusakan pebel elemen bakar. Pebel elemen bakar yang masih utuh ditransfer ke spektrometer beta gama untuk pendeteksian tingkat burn-upnya, bila burnup telah tercapai (+10 %), maka pebble elemen bakar menjadi BBNB. Sistem computer (11) mengatur perintah penggantian pebble elemen bakar saat terdapat pebel yang keluar sistem karena telah rusak atau menjadi BBNB.



**Gambar 3.** Sistem kontrol dan distribusi bahan bakar kernel tipe bola [4]

### 3. Penyimpanan / storage bahan bakar bekas

Dalam penanganan bahan bakar nuklir bekas HTGR, terdapat 2 metode penyimpanan sementara, yaitu penyimpanan kering dan penyimpanan basah dimana keduanya mempunyai fleksibilitas dalam hal manajemen bahan bakar bekas.



**Gambar 4.** Kolam penyimpanan bahan bakar bekas [6]



**Gambar 5.** Penyimpanan kering bahan bakar bekas.[6]

Dalam penyimpanan bahan bakar bekas, terdapat beberapa kekurangan dan kelebihan dari masing-masing opsi yang dipilih. Komponen yang

menjadikan perbandingan dari opsi yang dipilih diantaranya yaitu :

- Tipe pendinginan
- Fleksibilitas pada saat penggantian atau pengisian bahan bakar bekas
- Retrievability dari bahan bakar
- Integritas bahan bakar
- Proses pemantauan bahan bakar
- Lapisan radiologikal dan bahan kimia
- Limbah padat yang dihasilkan
- Kemungkinan tumbukan atau ditabrak pesawat terbang.

### B. Aspek Kebijakan/Strategi Nasional

Pada aspek pengambilan kebijakan nasional sangat berhubungan dengan dengan aspek teknis yang menjadi pertimbangan terkait dengan keselamatan penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas yaitu:

#### 1. Opsi manajemen bahan bakar

Secara strategis terdapat tiga pilihan utama untuk pengelolaan bahan bakar bekas yaitu:

- a. reprocessing,
- b. disposal pada repository geologi terpantau/monitored geologic repository (MGR),
- c. penyimpanan ditapak jangka panjang.

Dalam situasi yang ideal, bahan bakar bekas akan dikirim keluar tapak segera setelah keluar dari reaktor ke salah satu fasilitas reprocessing. Namun, ketersediaan pilihan ini bervariasi pada tingkat nasional atau regional. Dalam kasus di mana pengiriman keluar tapak bukanlah pilihan yang tersedia, maka bahan bakar bekas harus disimpan di dalam tapak sampai tersedia pilihan.

#### 2. Strategi pengolahan bahan bakar bekas HTGR

Terdapat dua strategi pengolahan bahan bakar bekas HTGR, yaitu:

##### a. Disposal langsung

Disposal langsung adalah pilihan saat ini untuk pengelolaan limbah elemen bahan bakar bekas HTGR. Ada sejumlah fitur positif untuk konsep HTGR yang efektif tidak hanya selama operasi normal dan selama kecelakaan, tetapi juga dalam kondisi penyimpanan menengah dan disposal akhir; termasuk diantaranya:

- Efisiensi penggunaan uranium dan in-situ plutonium yang dihasilkan dalam bahan bakar LEU karena tingginya burn up;
- Komposisi isotop dalam bahan bakar bekas yang sesuai dengan non-proliferasi;
- Lapisan partikel TRISO bahan bakar memberikan penghalang jangka panjang yang efektif terhadap transportasi produk fisi dan mengurangi kebutuhan untuk barrier tambahan;
- Karena densitas daya rendah dari bahan bakar, sistem pendingin udara pasif mencukupi sejak awal dari penyimpanan menengah;
- Teknik disposal dikembangkan untuk limbah aktif menengah dapat diterapkan untuk bahan bakar bekas HTGR ;
- Matriks grafit homogen meminimalkan setiap upaya pengkondisian bahan bakar bekas; dan
- Ketahanan korosi dari matriks grafit dan pelapis partikel terhadap repository yang relevan dengan air

garam memungkinkan konsep kemasan disposal bahan bakar yang sederhana.

#### b. Reprosesing bahan bakar HTGR

Secara umum terdapat tiga jenis pengolahan metalurgi pada proses reprosesing bahan bakar bekas, yaitu:

1. Pyrometallurgy menggunakan panas untuk memulai pemisahan logam dari konsentrat mineral (misalnya peleburan tembaga untuk menghasilkan blister copper).
2. Electrometallurgy menggunakan arus listrik untuk memisahkan logam (misalnya peleburan alumina untuk memproduksi aluminium).
3. Hydrometallurgy menggunakan larutan air yang larut logam, juga kadang pula sel elektrolit untuk memisahkan (e.g. produksi zinc, penyulingan tembaga).

Proses di masa yang akan datang harus memenuhi kriteria atau kinerja berikut :

- Pemisahan grafit dari partikel terlapisi, tanpa merusak dan tanpa transfer kontaminasi yang signifikan;
- Teknik untuk menghilangkan lapisan coating partikel tanpa merusak kernel; dan
- Mengoptimalkan proses pengelolaan dan kondisioning limbah (termasuk limbah sekunder).

Sebelumnya, proses pembakaran digunakan untuk mengekstrak partikel terlapisi dari matriks elemen bahan bakar HTGR. Proses ini tidak bisa lagi digunakan karena kemungkinan melepaskan  $C_{14}$  ke lingkungan.

Disposal langsung adalah pilihan saat ini untuk pengelolaan limbah elemen bahan bakar bekas HTGR. Sebagai acuan dalam penyimpanan bahan bakar Bekas HTGR adalah Negara Jerman dan Amerika Serikat. Banyak fasilitas nuklir di Amerika memiliki Fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas Independent yang digunakan untuk menyimpan sementara bahan bakar bekas HTGR. Terdapat permasalahan yang sedang berlangsung seperti isu-isu politik, sosial dan teknis. Kapasitas yang dialokasikan untuk bahan bakar bekas nuklir komersial, bahan bakar bekas US DOE dan limbah radioaktif tingkat tinggi di Yucca Mountain saat ini diakui tidak cukup untuk menampung aliran limbah yang ada, apalagi limbah yang dihasilkan dari HTGR. Namun metode akhir pengemasan dan transfer bahan bakar bekas Fort St. Vrain ke repositori, baik dari lokasi penyimpanan di Idaho atau Colorado masih menjadi permasalahan. Meski demikian, persyaratan *repository cask* untuk bahan bakar HTGR terus dilakukan penelitian.

Sedangkan di Jerman, tes demonstrasi in-situ dari penyimpanan akhir langsung dengan elemen bahan bakar bola direncanakan dalam Proyek MHV (Elemen Bakar MAW dan HTR Uji *Storage* di Lubang Bor) yang di mulai pada tahun 1983. Hal ini difokuskan pada teknik penanganan radioaktif yang berlaku untuk disposal in-situ. Sebuah lubang bor dengan kedalaman 10 m akan dibor di tambang garam dan dengan empat tabung stainless steel gas, masing-masing dengan 950 elemen bakar bekas dan total ~ 403g uranium. Tes direncanakan untuk durasi lima tahun. Tetapi proyek

ini, dihentikan karena alasan keuangan dan demonstrasi tes penyimpanannya tidak pernah terwujud.

#### C. Aspek Legal

Aspek Legal atau peraturan perundangan di Indonesia yang menjadi pertimbangan terkait dengan keselamatan penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas yaitu:

1. Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
2. Peraturan Pemerintah No. 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
3. Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2010 tentang Desain Sistem Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir
4. Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangunan RDNK Tipe HTR-10 yang rencananya akan dibangun di Indonesia, merupakan reaktor berbahan bakar partikel berlapis triso dalam matriks grafit, dengan pendingin primer gas helium. Reaktor tersebut diharapkan dapat digunakan untuk eksperimen pembangkitan energi listrik dan kegiatan ko-generasi seperti pencairan dan gasifikasi batubara, produksi hidrogen, pemanfaatan panas untuk proses kimia suhu tinggi dan lain-lain.

HTGR mempunyai sistem pendingin dan bahan bakar yang unik bila dibandingkan dengan jenis reaktor nuklirlain. Pemahaman sistem HTGR, bahan bakar dan aspek regulasi adalah awal yang baik untuk perbaikan yang diperlukan. Pemahaman aspek-aspek tertentu seperti siklus bahan bakar perlu dilakukan.

Selain itu pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir bekas (BBNB) merupakan bagian yang sangat penting dari keselamatan operasi RDNK, oleh karenanya informasi mengenai jenis dan jumlah limbah dan BBNB serta cara pengelolaannya hendaknya dapat memenuhi ketentuan peraturan perundang-undangan di Indonesia.

Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas berdasarkan peraturan perundang-undangan harus dapat memenuhi semua aspek yang dipersyaratkan. Ketentuan perundangan terkait dengan penanganan dan penyimpanan bahan bakar bekas RDNK yang akan dilakukan oleh Badan Pelaksana perlu mempertimbangkan sejumlah aspek seperti diantaranya Inventori limbah; Karakterisasi limbah; Pengolahan; Pengkondisian; Penyimpanan sementara; Penyimpanan/pembuangan akhir; Opsi teknis yang digunakan; Pengelolaan limbah jangka panjang; dan Titik akhir dalam pengelolaan limbah.

Karenanya sejak tahap awal, pernyataan perencanaan penanganan Bahan Bakar Nuklir Bekas dan limbah radioaktif harus telah dilampirkan dan dinyatakan dengan jelas oleh badan pelaksana karena merupakan Persyaratan teknis untuk memperoleh izin pemanfaatan Bahan Nuklir (PP No. 2 Tahun 2014 pasal 108). Perencanaan penanganan Bahan Bakar Nuklir Bekas harus telah memenuhi semua pertimbangan yang dipersyaratkan oleh peraturan yang ada di Indonesia.

Sesuai ketentuan dalam Peraturan Pemerintah No. 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, pada Pasal 32 maka BATAN selaku calon operator HTGR wajib melaksanakan penyimpanan sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas dalam waktu sekurang-kurangnya selama masa operasi reaktor nuklir. Oleh karena itu perlu dipastikan bahwa fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas yang disediakan mampu menyimpan bahan bakar bekas yang dihasilkan selama masa operasi reaktor dan memenuhi ketentuan keselamatan yang berlaku. Selain itu dalam masa pembangunan dan pengoperasian instalasi penyimpanan sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas sesuai pasal 38, BATAN wajib memiliki izin yang dikeluarkan oleh BAPETEN.

Menurut Perka No.3 Tahun 2010 Tentang Desain Sistem Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir untuk Reaktor, paragraf 8 menyatakan Desain sistem penanganan dan penyimpanan bahan bakar mencakup Penyimpanan Basah dan Penyimpanan Kering. Dan dalam hal ini bila Bahan Bakar Nuklir bekas setelah dipindahkan dari dan tidak akan digunakan lagi dalam teras reaktor harus disimpan dalam Penyimpanan Basah. Kemudian Bahan Bakar Nuklir bekas dapat dipindahkan ke Penyimpanan Kering setelah disimpan dalam penyimpanan basah paling singkat 1 (satu) tahun.

Berdasarkan peraturan tersebut, perlu kiranya menjadi pertimbangan, baik BAPETEN sebagai badan pengawas maupun BATAN sebagai pelaksana, untuk mempertimbangkan serta melakukan kajian lebih mendalam sehubungan dengan teknik dan cara penyimpanan bahan bakar bekas sementara tersebut.

Setelah bahan bakar bekas disimpan sementara, maka opsi pengelolaan yang dapat dilakukan menurut pasal 33 tindakan yang harus dilakukan yaitu

- a. mengirim kembali Bahan Bakar Nuklir Bekas ke negara asal; atau
- b. menyerahkan Bahan Bakar Nuklir Bekas kepada BATAN.

Pertimbangan dalam pemilihan opsi pengelolaan bahan bakar bekas dapat ditentukan berdasarkan asal bahan bakar yang digunakan. Jika bahan bakar yang digunakan berasal dari negara lain (diimpor) maka perlu dipastikan bahwa bahan bakar bekas yang dihasilkan dapat dikirim kembali ke negara asal. Sedangkan untuk bahan bakar yang dihasilkan (difabrikasi) oleh fasilitas yang dimiliki oleh BATAN, maka BATAN perlu menyiapkan instalasi pembuangan sesuai ketentuan yang berlaku.

Hal lain yang perlu diperhatikan bahwa sesuai ketentuan perundangan yang berlaku di Indonesia, pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas tidak diperbolehkan, sehingga opsi pengelolaan yang dimungkinkan sebagaimana yang telah disampaikan harus terus dapat dipertimbangkan..

Sehingga apabila bahan bakar bekas tidak dapat dikirim kembali ke negara asal dan Indonesia tidak memperbolehkan pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas maka Pembuangan Bahan Bakar Nuklir Bekas dilakukan pada instalasi penyimpanan lestari dimana BATAN harus menyediakan tempat penyimpanan lestari Bahan Bakar Nuklir Bekas.

Instalasi pembuangan (disposal) untuk bahan bakar bekas yang dimaksud adalah instalasi penyimpanan lestari. Tetapi berdasarkan pengalaman dari negara pengguna teknologi HTGR yaitu Jerman dan Amerika Serikat, penyimpanan lestari bahan bakar bekas HTGR belum dapat terwujud karena berbagai permasalahan baik dari aspek politik, sosial dan teknis. Untuk itu perlu dipertimbangkan guna mempersiapkan perencanaan terkait instalasi tersebut mengingat selain harus memenuhi ketentuan dan persyaratan baik teknis maupun administratif, penentuan tempat penyimpanan lestari Bahan Bakar Nuklir Bekas ditetapkan oleh Pemerintah setelah mendapat persetujuan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR-RI).

## V. KESIMPULAN

Dalam penanganan dan penyimpanan bahan bakar nuklir bekas RDNK, guna mencapai tingkat keselamatan yang diinginkan seluruh aspek teknis, legal dan strategis harus terus dipertimbangkan dengan melakukan:

- a. Terkait aspek teknis/keselamatan: Identifikasi persyaratan keselamatan bagi masyarakat dan lingkungan hidup pada saat ini dan masa mendatang;
- b. Terkait aspek strategi dan kebijakan:
  - Identifikasi rencana pengelolaan limbah radioaktif, antara lain yang menjadi tanggungjawab badan pelaksana dan badan pengawas; dan
  - Strategi yang diperlukan dalam pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir bekas, yaitu: Inventori limbah; Karakterisasi limbah; Pengolahan; Pengkondisian; Penyimpanan sementara; Penyimpanan/pembuangan akhir; Opsi teknis yang digunakan; serta Pengelolaan limbah jangka panjang; dan Titik akhir dalam pengelolaan limbah. (b&c masuk)
- c. Terkait aspek legal: Peninjauan kembali peraturan perundangan di Indonesia yang khusus mengatur keselamatan Bahan Bakar HTGR

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Peraturan Pemerintah No.3 Tahun 2010 Tentang Desain Sistem Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir
- [2]. Peraturan Pemerintah No. 61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [3]. Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
- [4]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, High Temperature Gas Cooled Reactor Fuels and Materials , IAEA-TECDOC-1645, Vienna (2010).
- [5]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Advances in High Temperature Gas Cooled Reactor Fuel Technology, IAEA-TECDOC -1674, Vienna (2012).
- [6]. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations in the development of safety requirements for innovative reactors: Application to modular high temperature gas cooled reactors, IAEA-TECDOC-1366, Vienna (2013).

- [7]. Syarip, Penanganan & Penyimpanan Bahan Bakar Bekas HTGR, PSTA-BATAN, Yogyakarta (2016)
- [8]. Zainus Salimin, Kajian Keselamatan Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Bekas RDNK,PTLR-BATAN, (2016)
- [9]. Paul Degnan, The Nuclear Fuel Cycle-Overview, Regional Workshop on the Principles of Spent Fuel and Radioactive Waste Management, Thailand ( 2015)
- [10]. P2STPIBN-BAPETEN, Laporan Hasil Kajian tentang Keselamatan Fabrikasi Bahan Bakar RDNK, Jakarta (2016)



## KAJIAN NEUTRONIK PERANGKAT SUBKRITIK UNTUK PRODUKSI MO-99 (SAMOP)

**Diah Hidayanti Sukarno**

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN*

e-mail: d.hidayanti@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Meningkatnya penggunaan radioisotop Tc-99m untuk diagnosis penyakit memunculkan beragam bentuk inovasi dalam upaya memproduksi radioisotop tersebut, yaitu salah satunya dengan menggunakan *Subcritical Assembly for Molybdenum-99 Production* (SAMOP). Saat ini, BATAN sedang mengajukan proses persetujuan suatu desain SAMOP ke BAPETEN. Untuk itu, BAPETEN perlu melakukan kajian neutronik terhadap desain SAMOP tersebut dalam rangka pengawasan aspek keselamatan. Desain SAMOP yang diusulkan menggunakan larutan uranyl nitrat ( $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ ) dengan densitas 300 g Uranium/l. Reflektor yang digunakan terbuat dari grafit dengan ketebalan 20 cm. Jenis material batang kendali dan pendingin masing-masing adalah  $\text{B}_4\text{C}$  dan air. *Analysis tool* yang digunakan adalah program SCALE 6.1. Parameter utama yang dianalisis adalah kritikalitas. Ada dua bentuk desain SAMOP yang diusulkan, yaitu dengan tambahan penggunaan bahan bakar standar TRIGA tipe 104 dan dengan tambahan *peripheral tubes* berisi larutan uranyl nitrat. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai kritikalitas SAMOP jika menggunakan bahan bakar TRIGA lebih tinggi daripada jika menggunakan *peripheral tubes* berisi larutan uranyl nitrat. Dengan tambahan penggunaan enam bahan bakar TRIGA diperoleh nilai kritikalitas 0,98430, sedangkan dengan tambahan penggunaan enam *peripheral tubes* berisi larutan uranyl nitrat diperoleh nilai kritikalitas 0,97532. Ketika batang kendali dalam posisi *fully down*, diperoleh nilai kritikalitas 0,93514 jika menggunakan bahan bakar TRIGA dan 0,92534 jika menggunakan *peripheral tubes*. Dengan demikian, desain SAMOP yang diusulkan telah memenuhi kriteria utama keselamatan neutronik karena sistem SAMOP beroperasi dalam batas margin subkritikalitas.

**Kata kunci:** kajian neutronik, SAMOP, desain, SCALE 6.1, kritikalitas

### ABSTRACT

*The increase of Tc-99m application for medical diagnostic has revealed various kind of innovations in producing that radioisotope, one of them is by using Subcritical Assembly for Molybdenum-99 Production (SAMOP). Now, BATAN is applying a SAMOP design to BAPETEN to get the approval. Therefore, BAPETEN needs to perform the neutronic assessment on that proposed SAMOP design for the purpose of safety aspect supervision. The proposed SAMOP design uses uranyl nitrate solution which has the density of 300 g Uranium/l. The reflector used is made of graphite with 20 cm of thickness. The materials used for the control rod and the coolant are boron carbide ( $\text{B}_4\text{C}$ ) and water, respectively. The tool analysis used is SCALE 6.1 program. The main parameter analysed is criticality. There are two types of SAMOP design proposed, i.e. with the addition of TRIGA standard fuel elements and with the addition of peripheral tubes containing uranyl nitrate solution. The results show that the criticalities of SAMOP by using the TRIGA fuels are higher than that of peripheral tubes containing uranyl nitrate solution. By the addition of six TRIGA fuel elements and six peripheral tubes containing uranyl nitrate solution, the criticality values reach 0.98430 and 0.97532, respectively. When the position of control rod is fully down, the criticality values are 0.93514 if using TRIGA fuels and 0.92534 if using peripheral tubes containing uranyl nitrate solution. The proposed SAMOP design has fulfilled the main criteria of neutronic safety because the SAMOP system operation is within the subcriticality margin.*

**Keywords:** neutronic assessment, SAMOP, design, SCALE 6.1, criticality

## I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi di bidang kedokteran, khususnya kedokteran nuklir, telah melahirkan berbagai macam bentuk aplikasi medis, yaitu salah satunya diagnosa penyakit menggunakan radioisotop Tc-99m. Sekitar 85% prosedur diagnostik kedokteran nuklir menggunakan radioisotop Tc-99m [1]. Faktor pertumbuhan penduduk dan tren medis menunjukkan peningkatan *global demand* akan Tc-99m di masa mendatang [1].

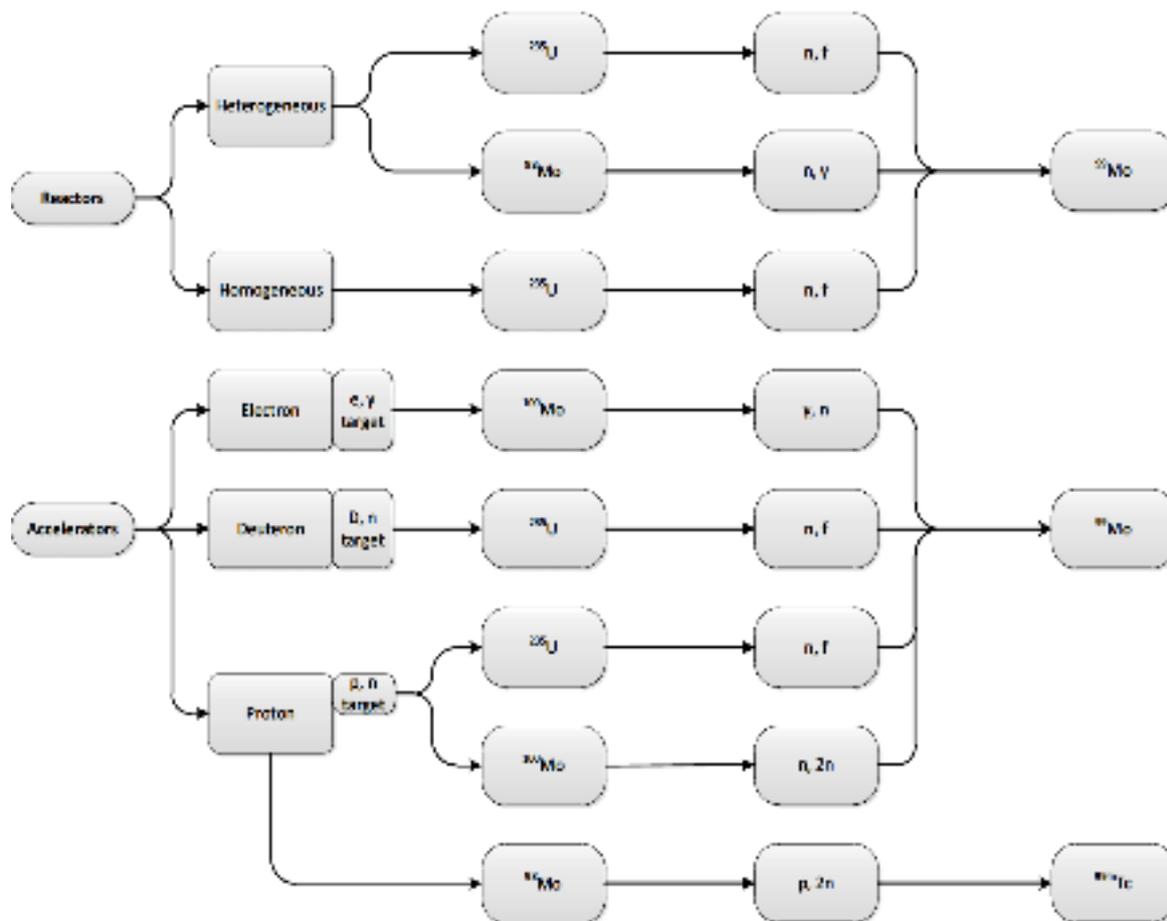
Radioisotop Tc-99m merupakan anak luruh dari radioisotop Mo-99 melalui beberapa jalur reaksi,

antara lain reaksi fisi U-235 dan reaksi tangkapan neutron Mo-98. Dari segi kuantitas radioisotop Mo-99 yang dihasilkan, reaksi fisi U-235 memiliki keunggulan dibandingkan jalur reaksi tangkapan neutron Mo-98. Beberapa skema jalur reaksi untuk memproduksi Mo-99 dan Tc-99m dapat dilihat pada Gambar 1.

Sebagian besar proses produksi Mo-99 dilakukan di reaktor-reaktor penelitian karena ketersediaan fluks neutron yang memadai. Salah satu bentuk utilisasi reaktor penelitian yang bertujuan untuk memproduksi Mo-99 adalah perangkat subkritis atau reaktor subkritis yang biasa dikenal dengan istilah

SAMOP (*Subcritical Assembly for Molybdenum-99 Production*). Sebenarnya sumber neutron untuk SAMOP tidak hanya berasal dari reaktor, namun dapat pula berasal dari akselerator seperti misalnya *SHINE system (The Subcritical Hybrid Intense Neutron Emitter)* yang dirancang oleh *SHINE Medical Technologies* [3]. Berbagai bentuk desain SAMOP telah dibuat [1,4]. Meski demikian, semua desain SAMOP yang dibuat harus tetap menjamin tercapainya subkritisitas sistem dan hal inilah yang menjadi perhatian utama aspek pengawasan keselamatan ketenaganukliran.

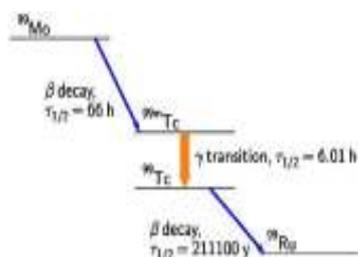
Saat ini, BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional), khususnya Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA), sedang mengajukan persetujuan sebuah desain SAMOP ke BAPETEN. Untuk itu, BAPETEN perlu melakukan kajian terhadap desain SAMOP yang diusulkan tersebut untuk menentukan apakah desain tersebut memenuhi kriteria keselamatan atau tidak. Dalam makalah ini, kajian yang dilakukan akan dititikberatkan pada aspek neutronik, khususnya perhitungan kriticalitas. Desain SAMOP yang diusulkan menggunakan bahan fisil berupa larutan uranil nitrat ( $UO_2(NO_3)_2$ ). Sumber neutron dirancang berasal dari Reaktor Kartini [5].



Gambar 1. Skema produksi Mo-99 da Tc-99m [2]

II. LANDASAN TEORI

Jalur reaksi fisi U-235 hingga menghasilkan Tc-99m dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema peluruhan Mo-99

Salah satu parameter neutronik penting yang menjadi kriteria keselamatan pengoperasian perangkat subkritis untuk memproduksi Mo-99 adalah kriticalitas. Nilai kriticalitas untuk suatu perangkat subkritis harus dijamin kurang dari satu dengan margin keselamatan yang memadai. Kriticalitas ( $k$ ) adalah faktor perlipatan neutron yang diformulasikan dalam Persamaan 1.

$$k = \frac{\Sigma_{neutron\ generasi\ ke-n}}{\Sigma_{neutron\ generasi\ ke-(n-1)}} \tag{1}$$

Dalam fisika reaktor, sering pula digunakan istilah reaktivitas untuk menggambarkan perubahan

kondisi kritikalitas. Reaktivitas ( $\rho$ ) ditentukan dengan persamaan berikut ini:

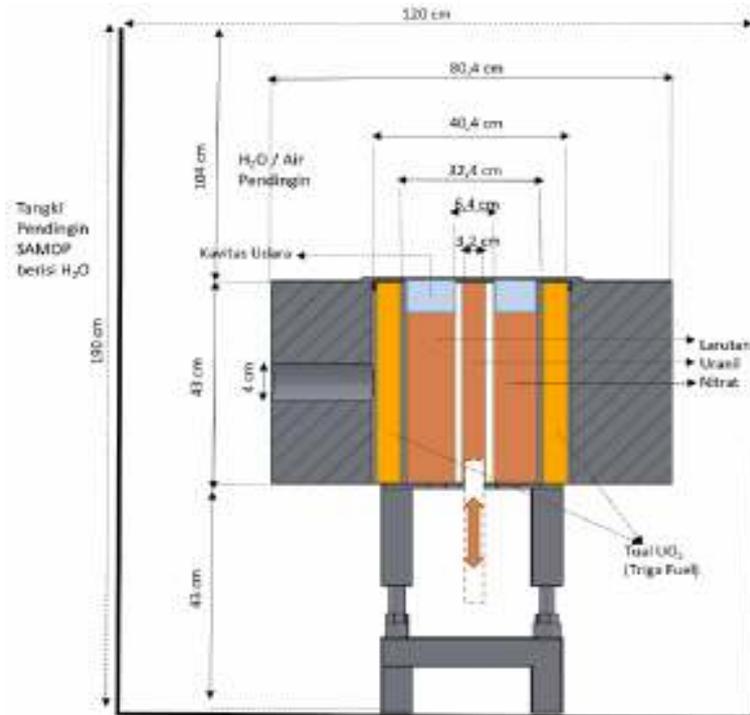
$$\rho = \frac{k-1}{k} \quad (2)$$

### Desain SAMOP BATAN

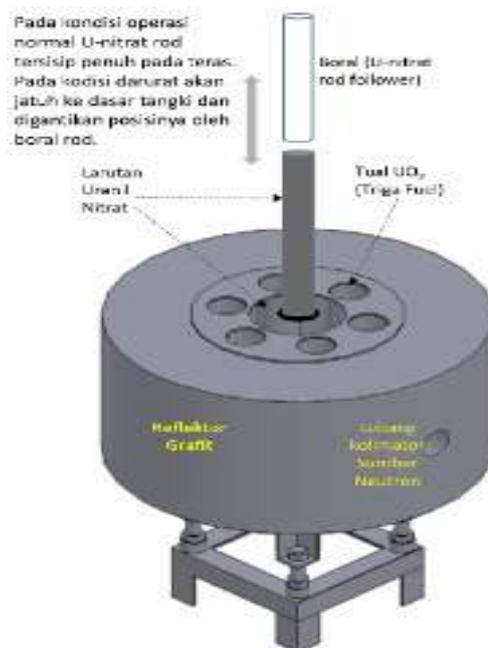
Spesifikasi dan desain geometri SAMOP diberikan masing-masing pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Spesifikasi desain SAMOP BATAN [6]

Densitas bahan fisil	300 g U per liter larutan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$
Densitas senyawa $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$	2,087 g/cm <sup>3</sup>
Absorber	B <sub>4</sub> C
Reflektor	Grafit
Pendingin	Air



(a)



(b)

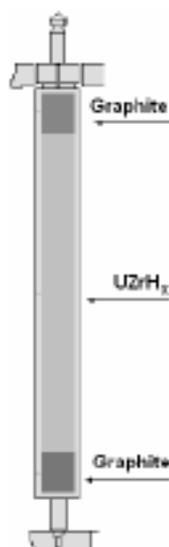
Gambar 3. Desain geometri SAMOP BATAN (a) sistem SAMOP keseluruhan (b) teras SAMOP [6]

Di bagian tengah reaktor subkritis terdapat tabung berdiameter 3,2 cm berisi larutan uranil nitrat dengan level ketinggian 28,10079 cm dari dasar tabung. Tabung tersebut terhubung dengan batang *absorber* B<sub>4</sub>C yang berfungsi sebagai penyerap neutron pada kondisi darurat. Sebuah tabung anular yang juga berisi larutan uranil nitrat setinggi 28,24906 cm mengelilingi tabung yang terletak di tengah. Di antara tabung di bagian tengah dengan tabung anular terdapat celah sempit berisi air pendingin dengan lebar 1,6 cm. Di bagian luar tabung anular terdapat reflektor grafit berbentuk anular dengan ketebalan 20 cm. Celah selebar 4 cm yang terletak di antara tabung anular dan reflektor dapat diisi dengan enam bahan bakar standar Reaktor Kartini, yaitu bahan bakar TRIGA tipe 104, atau enam *peripheral tubes* berdiameter 3,6 cm yang berisi larutan uranil nitrat dengan ketinggian sama dengan ketinggian larutan uranil nitrat dalam tabung anular, yaitu 28,24906 cm. Sumber neutron berasal dari teras Reaktor Kartini yang dilewatkan melalui salah satu *beamport* radial dan sebuah kolimator.

Pada kajian ini, bahan bakar TRIGA yang ditambahkan ke dalam sistem SAMOP adalah bahan bakar yang baru (*fresh fuel*) agar diperoleh hasil yang bersifat konservatif. Spesifikasi desain bahan bakar standar TRIGA tipe 104 yang digunakan dalam perangkat SAMOP diberikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

**Tabel 2.** Spesifikasi bahan bakar standar TRIGA tipe 104 [7]

Panjang total	35,31
Panjang aktif	38,1 cm
Bahan fisil	UZrH <sub>2</sub>
Panjang grafit	6,6 cm (atas) 9,39 (bawah)
Massa U-235	38 g
Pengkayaan	19,75%
Rasio Zr/H	1,65



**Gambar 4.** Elemen bakar standar TRIGA tipe 104 [7]

### III. METODE PENELITIAN

*Analysis tool* yang digunakan adalah perangkat lunak SCALE (*Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation*) 6.1. *Computer code* ini dikembangkan oleh Oak Ridge National Laboratory dan telah diterima secara luas di dunia untuk analisis keselamatan kritikalitas [8]. Salah satu *tool* utama untuk perhitungan kritikalitas nuklir dalam SCALE adalah *computer code* Keno VI, yaitu program Monte Carlo tiga dimensi untuk perhitungan kritikalitas [8].

Parameter utama yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah kritikalitas (*k*). Nilai kritikalitas desain SAMOP dalam penelitian ini akan ditentukan untuk berbagai variasi jumlah bahan bakar TRIGA atau *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat di sekeliling tabung anular. Nilai kritikalitas juga akan ditentukan pada kondisi dimana batang kendali sepenuhnya berada di bawah (*fully down*) menggantikan posisi tabung uranil nitrat di bagian tengah.

Desain geometri sistem SAMOP yang dibuat dengan program SCALE 6.1 dapat dilihat pada Gambar 5. Ruang kosong di atas larutan uranil nitrat, baik pada tabung tengah, tabung anular maupun keenam tabung perifer, serta pada kolimator diasumsikan berisi udara dengan sifat fisis sama dengan sifat fisis udara kering pada *database* program SCALE 6.1. Densitas air, bahan penyerap B<sub>4</sub>C, dan grafit menggunakan nilai *default* pada program SCALE 6.1, yaitu masing-masing 0,9982 g/cc, 2,52 g/cc, dan 2,3 g/cc.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

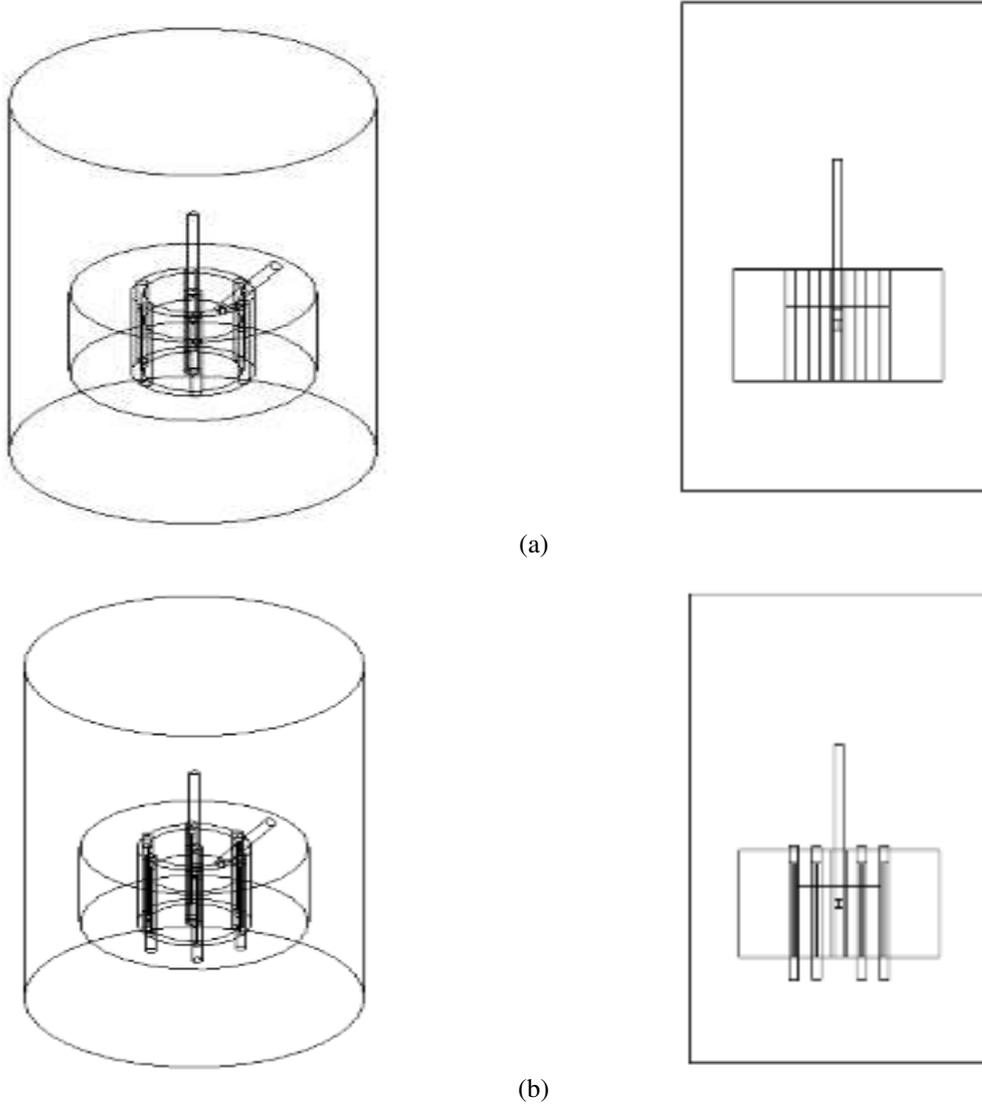
Nilai kritikalitas SAMOP jika menggunakan keenam bahan bakar TRIGA di sekeliling tabung anular adalah  $0,98430 \pm 0,00021$ . Jika bahan bakar TRIGA digantikan dengan keenam *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat maka diperoleh nilai kritikalitas sebesar  $0,97532 \pm 0,00022$ . Distribusi nilai kritikalitas sebagai fungsi jumlah bahan bakar TRIGA atau tabung uranil nitrat di sekeliling tabung anular ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai kritikalitas SAMOP jika menggunakan bahan bakar TRIGA di sekeliling tabung anular lebih tinggi daripada jika menggunakan *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat. Hal ini dikarenakan kandungan U-235 dalam bahan bakar TRIGA jauh lebih besar daripada kandungan U-235 dalam tabung perifer. Massa U-235 dalam satu elemen bahan bakar TRIGA tipe 104 sebagaimana telah tercantum pada Tabel 2 adalah 38 g, sedangkan jumlah U-235 dalam satu *peripheral tube* hanya sekitar 17,04 g. Gambar 6 juga menunjukkan bahwa terdapat margin keselamatan setara lima tabung uranil nitrat sebelum tercapai kekritisasi jika menggunakan tabung uranil nitrat di sekitar tabung anular. Adapun jika menggunakan bahan bakar TRIGA, terdapat margin keselamatan setara dua bahan bakar sebelum tercapai kekritisasi. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa desain SAMOP yang diusulkan dalam penelitian ini telah memenuhi kriteria keselamatan yang utama dari aspek neutronik, yaitu tercapainya kondisi subkritisitas sistem.

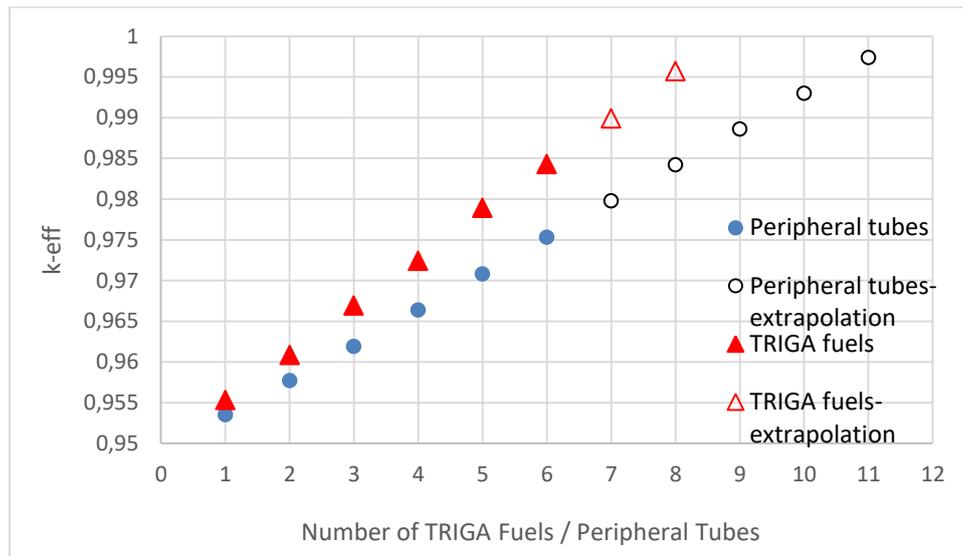
Ketika batang kendali dalam posisi *fully down*, diperoleh nilai kritikalitas  $0,93514 \pm 0,00020$  jika menggunakan keenam bahan bakar TRIGA dan  $0,92534$

$\pm 0,00018$  jika menggunakan keenam *peripheral tubes*. Berdasarkan definisi *shutdown margin*, yaitu jumlah reaktivitas ketika batang kendali masuk seluruhnya (*fully inserted*) ke dalam teras reaktor, maka dengan menggunakan Persamaan (2) dapat dikatakan bahwa desain SAMOP ini memiliki nilai *shutdown margin*

sebesar  $-6,936\%$  jika menggunakan bahan bakar TRIGA dan  $-8,068\%$  jika menggunakan *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat di sekeliling tabung anular.



**Gambar 5.** Desain geometri SAMOP yang dibuat dengan program SCALE 6.1 (a) dengan keenam *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat di sekeliling tabung anular (b) dengan keenam bahan bakar standar Reaktor Kartini di sekeliling tabung anular.



**Gambar 6.** Kritikalitas sistem SAMOP sebagai fungsi jumlah bahan bakar TRIGA atau *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat

## V. KESIMPULAN

Desain SAMOP yang diusulkan oleh BATAN telah memenuhi kriteria keselamatan dari aspek neutronik, yaitu beroperasi dalam kondisi subkritis. Dengan tambahan penggunaan enam bahan bakar TRIGA, diperoleh nilai kritikalitas 0,98430. Adapun dengan tambahan penggunaan enam *peripheral tubes* berisi larutan uranil nitrat diperoleh nilai kritikalitas 0,97532. Pada kondisi batang kendali *fully down*, nilai kritikalitas mencapai 0,93514 jika menggunakan bahan bakar TRIGA dan 0,92534 jika menggunakan tabung periferal berisi larutan uranil nitrat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Agus Waluyo, M.T. selaku pemegang lisensi program SCALE 6.1 serta kepada Dr. Azizul Khakim selaku atasan langsung penulis yang telah banyak membimbing penulis selama kajian ini berlangsung dan selama proses penulisan makalah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2013) IAEA Nuclear Energy Series No. NF-T-5.4: Non-HEU Production Technologies for Molybdenum-99 and Technetium-99m. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [2] IAEA (2015) Technical Reports Series No.478: Feasibility of Producing Molybdenum-99 on a Small Scale Using Fission of Low Enriched Uranium or Neutron Activation of Natural Molybdenum. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [3] Piefer GR et al. (2011) Mo-99 Production Using a Subcritical Assembly. Mo-99 2011 – 1st Annual Molybdenum-99 Topical Meeting, New Mexico.
- [4] Hector Rene Vega-Carrillo (2014) Subcritical Nuclear Assembly. ISSSD 2014 April 13 to 16th, 2014, Peru.
- [5] Karmanto, EE, Syarip (2016) Program Utilisasi *Beamport* Reaktor Kartini untuk Penelitian

Pengembangan *Subcritical Assembly For Moly Production* (SAMOP) Nomor Dokumen: UTILISASI SAMOP 2016 004.9 /RN 00 01 / STA.4. Pusat Sains dan Teknologi Akselerator-Badan Tenaga Nuklir Nasional.

- [6] Syarip (2017) Pengembangan Teknologi SAMOP (*Subcritical Assembly for Mo-99 Production*) untuk Diagnosis Medis di Bidang Kesehatan. Bahan Presentasi, Yogyakarta.
- [7] PSTA BATAN (2012), Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini Rev. 7, PSTA BATAN, Yogyakarta.
- [8] S. M. Bowman (2008) KENO-VI Primer: A Primer for Criticality Calculations with SCALE/KENO-VI Using GeeWiz. Oak Ridge National Laboratory.



## **PENERAPAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS ATMOSFERIK DI KAWASAN NUKLIR SERPONG**

**Arif Yuniarto<sup>1</sup>, Syahrir<sup>2</sup>, Untara<sup>1</sup>, Chevy Cahyana<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan*

<sup>2</sup> *Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jl. Gajah Mada no. 8, Jakarta Pusat*

e-mail: arif\_y@batan.go.id

### **ABSTRAK**

Fasilitas nuklir di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) telah dirancang, dibangun dan dioperasikan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dengan memperhatikan faktor keselamatan. Pada kondisi operasi normal, fasilitas nuklir berpotensi melepaskan zat radioaktif ke udara dan badan air. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah mengundang Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. Namun demikian, peraturan tersebut belum dapat diterapkan secara optimal di KNS, terutama terkait lepasan ke udara. Makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan terhadap dua faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara di KNS secara lebih baik. Pertama, KNS terdiri dari beberapa fasilitas nuklir yang masing-masing memiliki cerobong dan mekanisme operasi yang spesifik. Kedua, fasilitas nuklir di KNS belum dilengkapi dengan sistem pemantauan cerobong yang mampu mendeteksi jenis radionuklida, seperti yang diatur dalam peraturan. Oleh karena itu, perlu dilakukan beberapa upaya strategis baik secara administratif maupun teknis. Secara administratif, pemantauan lepasan ke lingkungan di KNS dilaksanakan oleh unit kerja penanggung jawab fasilitas dengan landasan peraturan internal pelimpahan wewenang Kepala BATAN kepada Kepala Unit Kerja. Selain itu, unit kerja di KNS telah berkoordinasi dan menyampaikan dokumen Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong kepada BAPETEN dengan melampirkan dokumen Kajian Perhitungan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong sebagai bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk perizinan fasilitas nuklir. Dokumen tersebut menyajikan tabel nilai batas lepasan ke lingkungan, mengatur frekuensi pemantauan dan mekanisme pelaporan antara unit kerja penanggung jawab fasilitas nuklir dan Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) selaku koordinator pemantauan lingkungan di KNS, serta mengatur ketentuan-ketentuan jika batas lepasan turunan mingguan terlewati. Secara teknis, fasilitas nuklir di KNS telah melakukan beberapa pendekatan metode pemantauan yang difokuskan pada pemenuhan peraturan dengan justifikasi teknis yang ilmiah tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan proteksi radiasi. Pendekatan tersebut merupakan metode yang sesuai untuk penerapan saat ini sehingga pemantauan yang masih bersifat radioaktivitas total dapat dibandingkan dengan nilai batas lepasan per nuklida sesuai peraturan. Dengan demikian, dalam hal pemenuhan peraturan terkait batas lepasan, fasilitas nuklir di KNS telah melakukan beberapa upaya untuk menentukan nilai batas lepasan spesifik tapak, melakukan koordinasi teknis pemantauan lepasan, dan melakukan pendekatan metode pemantauan lepasan. Pendekatan yang sederhana dan konservatif terus dikembangkan secara bertahap untuk menghasilkan pemantauan yang lebih handal dan realistis.

**Kata kunci:** batas lepasan, pemantauan cerobong, Kawasan Nuklir Serpong

### **ABSTRACT**

*Nuclear facilities in Serpong Nuclear Zone (KNS) have been designed, built and operated by the National Nuclear Energy Agency (BATAN) by paying attention on safety factors. Under normal operation, nuclear facilities have the potential to release radioactive substances into air and water bodies. Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) has issued BAPETEN Chairman Regulation Number 7 Year 2013 on Environmental Radioactivity Limit. Nevertheless, the regulation has not been optimally implemented in KNS, especially related to releases into air. The purpose of this paper is to give a review on two main factors that need to consider for better implementation of atmospheric radioactivity discharge limits in Serpong Nuclear Zone. First, KNS consists of several nuclear facilities where each has a stack and a specific operating mechanism. Second, the nuclear facilities at KNS have not been equipped with stack monitoring system that has capability to detect radionuclide types, as regulated. Therefore, it is necessary to perform some effort both administratively and technically. Administratively, environmental release monitoring at KNS is carried out by working unit which has responsibility on the facility based on regulation of authority delegation Head of BATAN to Head of Working Unit. In addition, work units at KNS have coordinated and submitted document of Radioactivity Discharge Limit to Environment around Serpong Nuclear Area by attaching document of Radioactivity Discharge Limit Calculation to Environment around KNS as part of radiation protection and safety program for nuclear facility permit. The document presents tables of discharge limit values to environment, regulates monitoring frequency and reporting mechanisms between work units and Center for Informatics and Nuclear Strategic Zone Utilization as the*

*environmental monitoring coordinator at KNS, and regulates the provisions if the weekly derived discharge limit is exceeded. Technically, nuclear facilities at KNS have undertaken several approaches to monitoring methods focusing on regulatory compliance with scientific technical justification without neglecting aspects of safety and radiation protection. These approaches are convenient methods at the moment to make gross radioactivity monitoring can be compared with discharge limit value per-nuclide according to the regulation. Thus, in the case of compliance with regulation on discharge limits, nuclear facilities at KNS have made some efforts to determine site specific discharge limits, perform technical coordination on discharge monitoring, and perform approaches on methodology of discharge monitoring. Simple and conservative approaches are being developed gradually to produce more reliable and realistic monitoring.*

**Keywords:** discharge limit, stack monitoring, Serpong Nuclear Zone

## I. PENDAHULUAN

Kawasan Nuklir Serpong (KNS) merupakan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Nuklir yang berlokasi di Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan. Di dalam kawasan ini terdapat berbagai fasilitas penelitian dan pengembangan teknologi nuklir antara lain reaktor riset serba guna, fasilitas produksi bahan bakar nuklir, fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka, instalasi pengolahan limbah radioaktif serta fasilitas pendukung lainnya. Seluruh fasilitas tersebut merupakan fasilitas Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang merupakan Lembaga Pemerintah Non Kementerian yang didirikan berdasarkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran [1].

Reaktor Serba Guna dan Laboratorium Penunjang (RSG-LP) di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) telah dirancang, dibangun dan dioperasikan dengan memperhatikan faktor keselamatan baik untuk pekerja, masyarakat dan lingkungan. Namun demikian, tidak dapat dihindarkan sejumlah kecil zat radioaktif yang terlepas ke lingkungan. Pada kondisi operasi normal (bukan kecelakaan), fasilitas nuklir berpotensi melepaskan zat radioaktif ke udara (atmosferik) dan ke badan air (akuatik). Jika tidak dikelola dan dipantau dengan baik, lepasan zat radioaktif ke lingkungan berpotensi memberikan penerimaan dosis radiasi kepada masyarakat di sekitar KNS [2].

Di dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK. 63/Menlhk/Setjen/PKTL.4/2/2016 tentang Perubahan Izin Lingkungan Kegiatan Operasional Kawasan Nuklir Serpong dan Irradiator serta Fasilitas Lainnya di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) – BATAN, PUSPIPTEK – Serpong, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) [3] juga dinyatakan bahwa salah satu dampak lingkungan yang dikelola adalah peningkatan lepasan radioaktif udara yang bersumber dari pengoperasian reaktor, proses produksi radioisotop, pengolahan bahan nuklir dan fabrikasi elemen bahan bakar nuklir, uji pasca iradiasi elemen bakar, serta pengelolaan limbah radioaktif. Indikator keberhasilan pengelolaan lingkungan hidup terkait dampak tersebut berupa aktivitas radionuklida tidak melebihi nilai batas lepasan radioaktivitas ke badan air.

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan [4] pada Pasal 6 dinyatakan bahwa Pemegang Izin (PI)

dari fasilitas harus menetapkan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas. Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan harus disampaikan kepada Kepala BAPETEN yang menjadi bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk pengajuan izin konstruksi, komisioning, dan operasi.

Dalam rangka melaksanakan peraturan tersebut, BATAN menyusun dokumen Kajian Perhitungan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong [5] dengan tujuan menetapkan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan untuk seluruh instalasi di KNS yang memiliki potensi lepasan efluen radioaktif ke lingkungan. Batas lepasan ditetapkan untuk lepasan ke udara dan ke badan air. Batas lepasan tersebut merupakan panduan operasional satuan kerja yang ada di KNS dalam mengelola dan mengendalikan lepasan zat radioaktif ke lingkungan.

Namun demikian, lepasan zat radioaktif atmosferik di KNS perlu dikelola secara komprehensif mengingat ada 2 (dua) faktor utama yang menjadi titik berat untuk dipertimbangkan, baik secara administratif maupun teknis. Pertama, KNS terdiri dari beberapa fasilitas nuklir yang masing-masing memiliki cerobong dan mekanisme operasi yang spesifik. Kedua, fasilitas nuklir di KNS belum dilengkapi dengan sistem pemantauan cerobong (*stack monitoring*) yang mampu mendeteksi jenis radionuklida, seperti yang diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 sehingga belum dapat dibandingkan dengan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan untuk setiap radionuklida.

Makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan terhadap dua faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara di KNS tersebut. Tinjauan ini difokuskan pada solusi penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara dengan mempertimbangkan realitas terkini di KNS terkait organisasi secara administratif dan metode pengukuran secara teknis. Kondisi terkini di KNS tersebut selanjutnya dikaitkan dengan ketentuan-ketentuan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 sehingga kepatuhan fasilitas nuklir terhadap peraturan badan pengawas tetap dapat dilakukan. Dalam hal ini, fasilitas nuklir tetap harus memiliki komitmen untuk menerapkan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara dengan pendekatan yang lebih baik di masa depan.

## II. LANDASAN TEORI

Dalam hal tinjauan terhadap penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara di KNS, perlu diidentifikasi beberapa hal penting di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 yang terkait dengan fokus tinjauan. Beberapa hal penting tersebut antara lain:

1. Pasal 4 menyatakan bahwa Pemegang Izin (PI) harus melaksanakan pemantauan lepasan ke lingkungan.
2. Pasal 6 menyatakan bahwa:
  - (1) PI dari fasilitas harus menetapkan Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas.
  - (2) Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan harus disampaikan kepada Kepala BAPETEN yang menjadi bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk pengajuan izin konstruksi, komisioning, dan operasi.
  - (3) Dalam penetapan Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan, PI harus menetapkan nilai pembatas dosis spesifik tapak, menetapkan suku sumber dan asumsi jalur lepasan dari instalasi ke masyarakat, dan menghitung nilai batas lepasan.
  - (4) Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan disampaikan dalam satuan lepasan tahunan.
  - (5) Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan harus diturunkan untuk nilai batas lepasan mingguan.
3. Pasal 10 menyatakan bahwa:
  - (1) Dalam hal lepasan radioaktivitas ke lingkungan melebihi Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan PI harus menghentikan sementara kegiatan operasi, melaporkan kejadian kepada Kepala BAPETEN paling lambat 2 x 24 (dua kali dua puluh empat) jam secara tertulis sejak diketahuinya lepasan radioaktivitas ke lingkungan melebihi Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan, dan melakukan beberapa upaya, antara lain pengurangan tingkat lepasan radioaktivitas ke lingkungan, penyelidikan terhadap penyebab kejadian, kondisi kejadian dan konsekuensi dari kejadian tersebut, serta modifikasi fasilitas, perbaikan prosedur, dan/atau pencegahan berulangnya kejadian yang sama.
  - (2) PI harus melaporkan segala tindakan kepada Kepala BAPETEN.
  - (3) Dalam hal upaya tidak dilakukan, Kepala BAPETEN menghentikan sementara kegiatan operasi fasilitas.

Selain landasan peraturan, tinjauan juga menggunakan landasan kondisi terkini metode pemantauan cerobong fasilitas-fasilitas di KNS. Pada Laporan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong Semester II Tahun 2016 Bab II.A.1 tentang Pengelolaan Dampak Lepasannya Zat Radioaktif ke Udara [6] dideskripsikan bahwa pemantauan cerobong fasilitas-fasilitas di KNS menggunakan metode pengukuran radioaktivitas total (*gross radioactivity*). Gas buang (gas, partikulat,

aerosol) yang lepas melalui cerobong dicuplik dan dicacah dengan sistem peralatan, baik yang bersifat terus menerus (kontinyu) maupun sesaat (batch). Oleh karena itu, hasil pemantauan cerobong di KNS belum dapat dibandingkan dengan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan untuk setiap radionuklida, sesuai dengan peraturan BAPETEN. Pemantauan cerobong dengan metode pengukuran per radionuklida dilakukan tidak kontinyu untuk mengetahui komposisi radionuklida yang terkandung dalam gas buang. Namun demikian, pengukuran tersebut tidak mendeteksi radionuklida buatan (hasil fisi dan aktivasi).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 pasal 4 menyatakan bahwa Pemegang Izin (PI) harus melaksanakan pemantauan lepasan ke lingkungan. Dalam konteks organisasi BATAN, PI adalah Kepala BATAN selaku pemohon perizinan terkait instalasi nuklir, pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir yang bertanggung jawab terhadap permohonan perizinan tersebut. Namun demikian, fasilitas-fasilitas nuklir di KNS memiliki tugas pokok dan fungsi yang spesifik, serta secara praktis memiliki mekanisme yang spesifik dalam proses operasi dan lepasan zat radioaktif ke lingkungan melalui cerobong. Oleh karena itu, pelaksanaan pemantauan lepasan zat radioaktif ke lingkungan mengacu pada Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 1 Tahun 2015 Tentang Pelimpahan Wewenang Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Kepada Kepala Unit Kerja Eselon II Tertentu Terkait Permohonan Perizinan Instalasi Nuklir, Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir [7]. Pelimpahan wewenang ini dilakukan untuk efisiensi dan efektifitas di mana pejabat eselon II bertindak untuk dan atas nama BATAN.

Dalam rangka memenuhi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 pasal 6, KNS melakukan beberapa langkah strategis. Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), yang dalam Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 14 Tahun 2013 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional [8] menyelenggarakan fungsi pelaksanaan pemantauan lingkungan Kawasan Nuklir Serpong, melaksanakan koordinasi dengan unit kerja yang memiliki fasilitas nuklir di KNS untuk melakukan kajian perhitungan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan. Kajian perhitungan nilai batas lepasan radioaktivitas tersebut menggunakan metode yang telah diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013, di mana PI harus menetapkan nilai pembatas dosis spesifik tapak, menetapkan suku sumber dan asumsi jalur lepasan dari instalasi ke masyarakat, dan menghitung nilai batas lepasan.

Dalam kajian perhitungan nilai batas lepasan ini, penetapan nilai pembatas dosis spesifik tapak KNS mengacu pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [9]. Pembatas dosis spesifik tapak, atau di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 disebut sebagai pembatas dosis untuk anggota

masyarakat, ditetapkan tidak melebihi 0,3 mSv (tiga persepuluh miliSievert) per tahun dan diberlakukan untuk satu kawasan. Dalam hal terdapat lebih dari satu fasilitas di satu kawasan, pembatas dosis wajib ditetapkan dengan mempertimbangkan kontribusi dosis dari masing-masing fasilitas atau instalasi.

Penetapan suku sumber lepasan ke udara dalam kajian perhitungan tersebut menggunakan data lepasan desain pada Laporan Analisis Keselamatan (LAK) masing-masing fasilitas. Pada LAK tersebut dapat diketahui jenis radionuklida dan jumlah radioaktivitas per nuklida yang berpotensi lepas dari fasilitas ke lingkungan. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi terkini bahwa pemantauan cerobong fasilitas-fasilitas di KNS menggunakan metode pengukuran radioaktivitas total. Penetapan suku sumber bukan merupakan tahapan yang urgen. Jenis dan jumlah suku sumber dapat diasumsikan dan selanjutnya dapat ditentukan faktor konversi dosis (*dose conversion factor*) untuk tiap radionuklida. Asumsi jalur lepasan dari instalasi ke masyarakat ditetapkan dengan mempertimbangkan data terkini kondisi masyarakat di sekitar KNS meliputi aspek demografi, tata guna lahan dan air, pola konsumsi, serta sosial dan budaya [10]. Berdasarkan kondisi masyarakat tersebut, selanjutnya dapat disusun suatu model jalur paparan radiasi terhadap suatu kelompok masyarakat yang berpotensi menerima dosis radiasi lebih tinggi (*representative person*) dibandingkan dengan masyarakat pada umumnya.

Setelah melewati metode perhitungan tersebut, diperoleh nilai batas lepasan tahunan per radionuklida yang berlaku untuk seluruh fasilitas nuklir di KNS yang selanjutnya diturunkan sebagai nilai batas lepasan mingguan. Nilai batas lepasan tersebut tidak dibagi lagi berdasarkan bobot suku sumber masing-masing fasilitas. Hal ini dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal. Pertama, suku sumber yang digunakan dalam perhitungan nilai batas lepasan merupakan data lepasan desain yang secara kuantitatif tidak menggambarkan kondisi terkini jumlah lepasan ke lingkungan. Kedua, pemantauan lepasan ke lingkungan dilakukan dalam periode mingguan dengan membandingkan dengan batas lepasan turunan mingguan. Jika ada satu atau lebih fasilitas yang lepasannya melebihi batas lepasan mingguan, maka lepasan tersebut diharapkan masih jauh dari batas lepasan tahunan. Dengan kata lain, pembatas dosis (atau bahkan nilai batas dosis) tahunan untuk anggota masyarakat belum terlewati.

Dokumen Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong [11] selanjutnya disampaikan kepada BAPETEN dengan melampirkan dokumen Kajian Perhitungan Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong sebagai bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk perizinan fasilitas nuklir. Selain menyajikan tabel nilai batas lepasan ke lingkungan, dokumen tersebut juga mengatur frekuensi pemantauan serta mekanisme pelaporan antara unit kerja penanggung jawab fasilitas nuklir dan PPIKSN selaku koordinator pemantauan lingkungan di KNS. Di samping itu, dokumen tersebut juga mengatur ketentuan-ketentuan jika batas lepasan turunan

mingguan terlewati dalam rangka memenuhi ketentuan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 pasal 10.

Secara lebih rinci, penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke udara di KNS diatur sebagai berikut:

1. Penerapan batas lepasan mengikuti tahun kalender.
2. Untuk lepasan lebih dari satu radionuklida, berlaku rumus rasio penjumlahan sebagai berikut:

$$\sum_i^n \frac{A_i}{NBRL_i} \leq 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

dengan

$A_i$  : Lepasannya radionuklida ke lingkungan radionuklida  $i$  hingga  $n$

$NBRL_i$  : Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan radionuklida  $i$  hingga  $n$

3. Setiap instalasi harus mengendalikan lepasan atmosferiknya tidak melewati batas lepasan turunan per minggu.
4. Setiap instalasi harus melakukan pengukuran lepasannya radionuklida dari cerobongnya per minggu dan melaporkan lepasan tersebut ke PPIKSN per bulan.
5. PPIKSN menyampaikan informasi status total akumulasi tahunan lepasannya cerobong kepada tiap instalasi terkait tingkat pemenuhan batas lepasannya per triwulan sehingga dapat diketahui sisa kuota lepasannya yang masih tersedia atau terlewati per triwulan.
6. Dalam hal lepasannya radioaktivitas ke lingkungan melebihi batas lepasan turunan per minggu, PI harus:
  - menghentikan sementara kegiatan operasi;
  - melaporkan kejadian kepada Kepala BAPETEN paling lambat 2 x 24 (dua kali dua puluh empat) jam secara tertulis sejak diketahuinya batas lepasannya turunan per minggu terlampaui;
  - melakukan upaya pengendalian lepasannya normal kembali; dan
  - setelah lepasannya dapat normal kembali, PI meminta persetujuan kepada Kepala BAPETEN untuk mengoperasikan kembali fasilitas dengan menyampaikan secara tertulis penyelidikan terhadap penyebab kejadian, kondisi kejadian, dan konsekuensi dari kejadian tersebut serta adanya modifikasi fasilitas, perbaikan prosedur, dan/atau pencegahan berulangnya kejadian yang sama.

Diagram alir penerapan nilai batas lepasannya radioaktivitas ke udara di KNS ditunjukkan pada Lampiran A.

Tinjauan terhadap faktor pertimbangan kedua, yaitu pemantauan cerobong fasilitas nuklir di KNS yang masih menggunakan metode pengukuran radioaktivitas total, difokuskan pada pemenuhan peraturan dengan justifikasi teknis yang ilmiah tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan proteksi radiasi. Sebelum fasilitas mampu melakukan pemantauan cerobong secara kontinyu dan spesifik per radionuklida, ada beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk memenuhi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013,

yaitu pendekatan radiotoksitas, pendekatan komposisi radionuklida, dan pendekatan radionuklida utama.

Pendekatan radiotoksitas merupakan pendekatan paling sederhana dan konservatif. Pendekatan radiotoksitas dilakukan dengan mengelompokkan lepasan menjadi tiga kelompok radionuklida, yaitu gas mulia, iodin dan partikulat. Langkah selanjutnya adalah memilih radionuklida yang paling radiotoksik atau paling membatasi atau memberikan kontribusi dosis paling tinggi dari data lepasan desain untuk setiap kelompok radionuklida. Data pemantauan fasilitas yang berupa radioaktivitas total diasumsikan sebagai radioaktivitas dari radionuklida yang paling radiotoksik untuk setiap kelompok radionuklida tersebut. Fasilitas perlu melakukan penyesuaian alarm notifikasi pada pemantauan lepasan radioaktivitas total berdasarkan nilai batas lepasan radionuklida paling toksik. Sampai tahun 2016, pemantauan lepasan di KNS masih menggunakan pendekatan ini.

Pendekatan komposisi radionuklida dilakukan dengan menapis radionuklida utama berdasarkan kontribusi dosis (>90%). Selanjutnya, radionuklida utama tersebut dikelompokkan menjadi tiga kelompok radionuklida, yaitu gas mulia, iodin dan partikulat. Data pemantauan fasilitas yang berupa radioaktivitas total diasumsikan sebagai radioaktivitas dari radionuklida utama untuk setiap kelompok radionuklida tersebut. Penentuan komposisi radionuklida secara sederhana dapat dilakukan menggunakan data lepasan desain. Jika memungkinkan, penentuan komposisi radionuklida juga dapat dilakukan dengan pencuplikan lepasan yang kemudian diukur menggunakan spektrometri untuk mengidentifikasi radionuklida secara lebih realistis. Penentuan komposisi radionuklida dengan cara terakhir memerlukan perangkat pencuplikan dan analisis spektrometri yang handal. Seperti halnya pendekatan radiotoksitas, pendekatan ini juga menuntut fasilitas untuk melakukan penyesuaian alarm notifikasi pada pemantauan lepasan radioaktivitas total berdasarkan nilai batas lepasan radionuklida utama sesuai komposisinya.

Pendekatan radionuklida utama merupakan pendekatan yang paling mendekati ideal dalam pemantauan lepasan per radionuklida. Pendekatan ini dilakukan dengan mengukur radionuklida utama dengan kontribusi dosis di atas 1%. Pendekatan ini memerlukan perangkat pencuplikan lepasan dan analisis spektrometri yang handal. Pendekatan ini juga merupakan cikal bakal pengukuran lepasan secara ideal per radionuklida.

#### IV. KESIMPULAN

Penerapan dan pemenuhan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan belum dapat dilakukan secara optimal di KNS. Hal tersebut disebabkan oleh dua faktor utama yang mencakup aspek administratif dan teknis. Hal mendasar yang utama adalah belum tersedianya sistem pemantauan cerobong yang mampu mendeteksi jenis radionuklida, atau dengan kata lain masih berupa pengukuran radioaktivitas total sehingga belum dapat dibandingkan dengan nilai batas lepasan

radioaktivitas ke lingkungan untuk setiap radionuklida, sesuai dengan peraturan BAPETEN. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa pendekatan yang difokuskan pada pemenuhan peraturan dengan justifikasi teknis yang ilmiah tanpa mengabaikan aspek keselamatan dan proteksi radiasi. Pendekatan paling sederhana dan konservatif adalah pendekatan radiotoksitas. Dengan metode dan peralatan yang lebih mapan, pendekatan komposisi radionuklida dan pendekatan radionuklida utama juga dapat dilakukan untuk memberikan gambaran realistis terhadap lepasan cerobong fasilitas di KNS. Ketiga pendekatan tersebut diharapkan dapat diterapkan secara bertahap untuk mengarah pada implementasi yang lebih baik, sebelum akhirnya implementasi secara penuh dapat dilakukan menggunakan pemantauan cerobong per radionuklida dan *real-time*.

Faktor lain yang juga berpengaruh pada penerapan nilai batas lepasan adalah aspek administratif. KNS terdiri dari beberapa fasilitas nuklir yang masing-masing memiliki cerobong dan mekanisme operasi yang spesifik. Masing-masing fasilitas berada di bawah tanggung jawab unit kerja yang berbeda sesuai pelimpahan wewenang Kepala BATAN kepada Kepala Unit Kerja Eselon II terkait permohonan perizinan instalasi nuklir, pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir. Hal ini memerlukan koordinasi yang lebih komprehensif di antara unit kerja di KNS sehingga pemantauan lepasan cerobong dalam satu kawasan dapat dikendalikan dengan baik. PPIKSN selaku unit kerja pelaksana pemantauan lingkungan KNS memiliki peran penting dalam koordinasi pemantauan lepasan atmosferik dari fasilitas nuklir. Koordinasi tersebut dimulai dari tahapan penentuan nilai batas lepasan hingga pada tahapan pemantauan lepasan dan pelaporannya.

Dengan demikian, dalam hal pemenuhan peraturan terkait batas lepasan, fasilitas nuklir di KNS telah melakukan beberapa upaya strategis seperti penentuan nilai batas lepasan spesifik tapak, melakukan koordinasi teknis pemantauan lepasan, dan melakukan pendekatan metode pemantauan lepasan. Pendekatan yang sederhana dan konservatif terus dikembangkan secara bertahap untuk menghasilkan pemantauan yang lebih handal dan realistis. Peningkatan koordinasi secara administratif dan kinerja sistem pemantauan lepasan secara teknis di KNS perlu dilakukan di masa mendatang. Pemantauan lepasan yang semakin baik akan berpengaruh koordinasi administratif yang semakin baik pula. Pada akhirnya diharapkan penerapan dan pemenuhan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 dapat dilakukan secara menyeluruh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, (1997), *Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Sekretariat Negara, Jakarta.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2015), *Dokumen Teknis Paket Teknologi Sistem Pemantauan Kontinyu Radiasi Udara Ambien Reaktor dan*

- Fasilitas Nuklir*, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir, Tangerang Selatan.
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, (2016), *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK.63/Menlhk/Setjen/PKTL.4/2/2016 Tentang Perubahan Izin Lingkungan Kegiatan Operasional Kawasan Nuklir Serpong dan Irradiator serta Fasilitas Lainnya di Kawasan Nuklir Serpong*, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, Jakarta.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2013), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan*, Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 839, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta.
- [5] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2015), *Kajian Perhitungan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong*, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir, Tangerang Selatan.
- [6] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2016), *Laporan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong Semester II Tahun 2016*, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir, Tangerang Selatan.
- [7] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2015), *Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 1 Tahun 2015 Tentang Pelimpahan Wewenang Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Kepada Kepala Unit Kerja Eselon II Tertentu Terkait Permohonan Perizinan Instalasi Nuklir, Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*, Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 45, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta.
- [8] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2013), *Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 14 Tahun 2013 Tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional*, Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 1650, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta.
- [9] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2013), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 672, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, Jakarta.
- [10] Badan Pusat Statistik dan Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2011), *Pemutakhiran Data Rona Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Tangerang dan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif BATAN, Tangerang.
- [11] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2015), *Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong*, Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir, Tangerang Selatan.

## LAMPIRAN

## A. Diagram alir penerapan nilai batas lepuasan radioaktivitas ke udara di KNS

No	Aktivitas	Pembahasan		
		Fasilitas Nuklir	PPIKSN	BAPETEN
1	Melakukan pengelolaan atau pengendalian lepuasan zat radioaktif ke udara melalui cerobong			
2	Melakukan pemantauan lepuasan zat radioaktif ke udara melalui cerobong menggunakan stack monitor ing			
3	Menganalisis dan mengevaluasi jenis radionuklida hasil pemantauan cerobong tiap periode satu minggu kalender			
4	Membandingkan nilai lepuasan dengan nilai batas lepuasan tahunan per minggu			
5	Menghitung dan mengevaluasi jumlah dari rasio antara lepuasan dan NHRL untuk semua jenis radionuklida (persamaan 1)			
6	Menyampaikan data hasil pemantauan cerobong per minggu kepada PPIKSN tiap satu bulan			
7	Menerima data hasil pemantauan cerobong dari fasilitas nuklir			
8	Melakukan rekapitulasi total akumulasi lepuasan kawasan dan menyusun laporan tingkat pemenuhan batas lepuasan			
9	Menyampaikan laporan tingkat pemenuhan batas lepuasan kepada BAPETEN dengan tembusan kepada tiap fasilitas nuklir			
10	Menerima laporan tingkat pemenuhan batas lepuasan dari PPIKSN			
11	Menghentikan sementara kegiatan operasi			
12	Melaporkan kepada BAPETEN dengan tembusan kepada PPIKSN paling lambat 2 x 24 jam secara tertulis sejak diketahuinya batas lepuasan tahunan per minggu terlampaui			
13	Menerima laporan terlampauinya batas lepuasan tahunan per minggu dari fasilitas nuklir			
14	Melakukan upaya pengendalian lepuasan normal kembali			
15	Melakukan evaluasi terhadap upaya pengendalian lepuasan			
16	Meminta persetujuan kepada BAPETEN untuk mengoperasikan kembali fasilitas			
17	Mengevaluasi permintaan persetujuan pengoperasian kembali fasilitas			
18	Menyampaikan persetujuan pengoperasian kembali fasilitas dengan tembusan kepada PPIKSN			
19	Menerima persetujuan pengoperasian kembali fasilitas dari BAPETEN			



## EVALUASI KESELAMATAN REAKTOR DITINJAU DARI NILAI *SHUTDOWN MARGIN* PADA SISTEM *SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR <sup>99</sup>Mo PRODUCTION* (SAMOP)

Yunita Anggraini<sup>1)</sup>, Riyatun<sup>1)</sup>, Suharyana<sup>1)</sup> Azizul Khakim<sup>2)</sup>,

<sup>1)</sup> Group Riset Nuklir dan Radisi, Prodi Fisika, FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta

<sup>2)</sup> P2STPIBN, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta

e-mail: riyatun@staff.uns.ac.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi neutronik sistem SAMOP dengan metode komputasi berbasis Monte Carlo menggunakan perangkat lunak MCNPX. Tujuan simulasi untuk mengevaluasi tingkat keselamatan ditinjau dari nilai *shutdown margin* pada sistem SAMOP. *Shutdown margin* merupakan parameter kemampuan pemadaman reaktor dari sistem pengendalian reaktivitas. Untuk meningkatkan angka keselamatan, telah ditetapkan batas nilai *shutdown margin* minimal yang lazim digunakan pada reaktor riset adalah 0,5 persen  $\Delta k/k$ . Geometri teras SAMOP berbentuk silinder berdiameter 40,2 cm, tinggi 43 cm, diisi 24,3 liter bahan bakar uranil nitrat dengan pengayaan <sup>235</sup>U tetap 19,75%. Volum teras adalah 40,094 liter. Sistem SAMOP menggunakan pendingin dan moderator air, batang kendali berupa boron karbida ( $B_4C$ ), dan reflektor berupa grafit. Sistem tersebut beroperasi pada daya 600 watt. Dilakukan variasi konsentrasi uranium pada rentang nilai 200-500 g/l agar didapat konsentrasi optimum yang menghasilkan nilai  $k_{eff}=0,99$  kemudian dievaluasi status keamanan sistem SAMOP ditinjau dari nilai *shutdown margin*. Hasil dari penelitian adalah : (1) Nilai  $k_{eff}$  sebesar 0,99 dihasilkan pada konsentrasi larutan uranil nitrat 300 g/l, (2) Sistem SAMOP dengan konsentrasi larutan uranil nitrat sebesar 300 g/l berada pada kondisi aman ditinjau dari nilai *shutdown margin*

**Kata kunci:** SAMOP, MCNPX, *shutdown margin*

### ABSTRACT

*Neutronic simulation of SAMOP reactor has been done using MCNPX computation method based on Monte Carlo. The purpose of the simulation is to evaluate the safety level of reactor in terms of the shutdown margin value on the SAMOP reactor core. Shutdown margin is a parameter of shutting down the reactor capability related to reactivity control system. To improve the safety has been set a minimum limit of shutdown margin value that commonly used in research reactor generally 0,5%  $\Delta k/k$ . SAMOP reactor core has a cylinder shape with diameter 40,2 cm and high of 43 cm. A total 24,3 liters of uranil nitrate material with U-235 enrichment 19,75% varied in concentration (200-500) g/l. The SAMOP reactor uses water as a moderator that mixed with fuel. Water is also used as a coolant that is outside of reactor core. The control rod is made of boron carbide ( $B_4C$ ) and the reflector is graphite. The reactor is operated on power 600 watt. Variations of uranium concentration in the range of values of 200-500 g/l are performed in order to obtain the concentration which produces  $k_{eff}$  value 0,99 then is evaluated the safety status of the reactor in terms of the shutdown margin value. The results of this study are: (1) The  $k_{eff}$  value of 0,99 is produced at a concentration of 300 g/L, (2) Reactor with concentration 300 g/l is in safe condition viewed from the shutdown margin value*

**Keywords:** SAMOP, MCNPX, *shutdown margin*

## I. PENDAHULUAN

Keberhasilan terapi suatu penyakit salah satunya ditentukan oleh keakuratan diagnostik. Atas dasar ini maka metode diagnostik harus selalu dikembangkan agar semakin akurat. Salah satu radioisotop yang bisa dimanfaatkan untuk diagnostik adalah teknisium-99 metastabil (<sup>99m</sup>Tc) Nuklida ini dihasilkan dari peluruhan isotope <sup>99</sup>Mo [1]. Secara umum produksi <sup>99</sup>Mo di dunia dikembangkan menggunakan reaktor nuklir. Menurut hasil kajian yang telah dilakukan di Pusat Sains Teknologi dan Akselerator (PSTA) BATAN menunjukkan bahwa <sup>99</sup>Mo dapat diproduksi dengan menggunakan reaktor subkritis dengan sumber neutron eksternal. Reaktor seperti ini dinamakan *Subcritical Assembly for <sup>99</sup>Mo Production* (SAMOP) [2].

Dalam pengoperasian reaktor juga perlu mempertimbangkan aspek keselamatan ketika reaktor dioperasikan, salah satunya ditinjau dari nilai *shutdown margins*, yang merupakan parameter kemampuan pemadaman operasi reaktor dari sistem pengendalian reaktivitas. Reaktivitas merupakan ukuran perubahan fraksi populasi neutron tiap generasi. Hal ini untuk mengurangi tingkat kecelakaan yang terjadi ketika reaktor dioperasikan.

Pengawasan tenaga nuklir di Indonesia tidak bisa dihindari dan sangat diperlukan. Dengan makin berkembangnya teknologi nuklir dan penggunaannya di masyarakat makin meluas, pengawasan ditujukan untuk memastikan keselamatan masyarakat dan lingkungan. Pengawasan reaktor nuklir diawasi oleh suatu badan pengawas. Pada tingkat dunia, pengoperasian reaktor diawasi oleh Badan Tenaga

Atom Internasional yaitu *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Sedangkan di Indonesia, pengoperasian reaktor nuklir berada dibawah badan pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Dalam perkembangan teknologi nuklir dari tahun ke tahun, juga pelajaran dari beberapa insiden dan kecelakaan kritikalitas (*criticality accidents*) di beberapa fasilitas pemrosesan bahan nuklir memberikan pelajaran yang sangat berarti untuk peningkatan keselamatan di masa depan. Untuk memastikan keselamatan, telah ditetapkan batas nilai *shutdown margin* minimal yang lazim digunakan pada reaktor riset pada umumnya sebesar 0,5 persen  $\Delta k/k$ . Nilai *shutdown margin* yang tersedia harus lebih besar dari nilai minimum desain yang ditetapkan [3]

MCNPX adalah sebuah *software* analisa transfer radiasi berbasis Monte Carlo yang secara umum didesain untuk tujuan simulasi jejak berbagai tipe partikel dengan spectrum-spektrum energi yang kontinu. Versi ini adalah versi lanjutan dari MCNP yang telah dimulai di Los Alamos National Laboratory sekitar enam puluh tahun yang lalu. Sedangkan pengembangan MCNPX sendiri dimulai dari tahun 1994 sebagai perluasan dari MCNP4B dan LAHET 2.8 untuk mendukung *Accelerator Production Project* (APT). Program MCNP menerapkan metode Monte Carlo dalam menyelesaikan berbagai macam persoalan transport partikel, antara lain neutron, foton, elektron, gabungan neutron/foton, neutron/foton/electron maupun foton/elektron. Sifat-sifat bahan serta interaksi partikel dengan bahan dinyatakan dalam fungsi energi kontinu [4].

Pentingnya perhitungan *shutdown margin* pada sistem subkritis untuk mengetahui seberapa cepat dan keandalan SAMOP ketika di off kan. Jika neutron dari Kartini distop, SAMOP subkritis namun tidak serta merta drop. Karena ada batang kendali, bila Kartini di off kan dan batang kendali SAMOP *fully down* maka  $k_{eff}$  nya cepat drop menuju 0 [5].

#### Sistem Keselamatan

Sistem keselamatan dirancang, dibuat serta dioperasikan untuk memberikan jaminan keselamatan terhadap pengoperasian reaktor nuklir dan dalam menghadapi kondisi operasional terantisipasi serta dapat memitigasi konsekuensi radiologis yang ditimbulkan jika terjadi kecelakaan (Pusdiklat BATAN, 2004). Pada prinsipnya ada 3 Fungsi dasar keselamatan reaktor yaitu pemadaman reaktor, pendinginan khususnya teras reaktor, dan pengungkungan bahan radioaktif untuk mencegah atau memitigasi pelepasan tak terencana ke lingkungan [6].

#### Faktor Multiplikasi Efektif ( $k_{eff}$ ) dan Reaktivitas ( $\rho$ )

Faktor Multiplikasi Efektif ( $k_{eff}$ ) adalah parameter keamanan untuk memantau perubahan jumlah neutron tiap siklus, yang dinyatakan dengan perbandingan jumlah neutron yang dihasilkan suatu generasi dengan jumlah neutron pada generasi sebelumnya. Persamaan untuk menghitung  $k_{eff}$  dalam satu siklus dikenal dengan rumus enam faktor.

$$k_{eff} = \varepsilon \mathcal{L}_f p \mathcal{L}_t \eta \quad (1)$$

Dengan,

- $\varepsilon$  = fisi cepat
- $\mathcal{L}_f$  = Faktor ketidakbocoran neutron cepat
- $p$  = Probabilitas lolos resonansi
- $\mathcal{L}_t$  = Faktor ketidakbocoran neutron termal
- $f$  = Faktor utilitas termal
- $\eta$  = Faktor reproduksi

Kondisi reaktor berdasarkan kekritisannya dibedakan menjadi 3 yaitu kondisi subkritis saat  $k_{eff} < 1$  artinya populasi neutron berkurang, kritis saat  $k_{eff} = 1$  artinya populasi neutron tetap, superkritis saat  $k_{eff} > 1$  artinya populasi neutron bertambah [7].

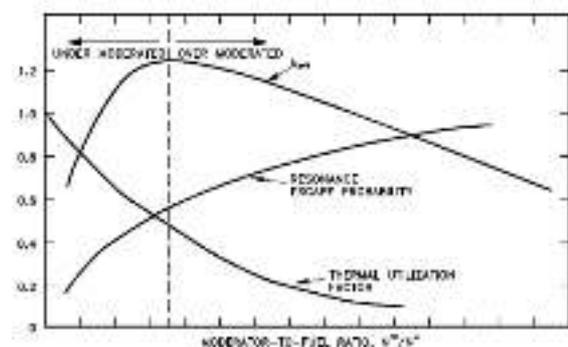
Reaktivitas ( $\rho$ ) adalah faktor yang menunjukkan besarnya perubahan nilai  $k_{eff}$ . Faktor reaktivitas ( $\rho$ ) dapat dinyatakan secara matematis dalam persamaan 1.

$$\rho = \frac{\Delta k_{eff}}{k_{eff}} = \frac{k_2 - 1}{k_2} \quad (2)$$

Setiap reaktor nuklir selalu didesain memiliki tambahan reaktivitas diatas nilai minimum yang diperlukan agar reaktor dapat kritis pada tingkat daya nominalnya untuk jangka waktu tertentu. Tambahan reaktivitas tersebut disebut sebagai reaktivitas lebih teras (*core excess of reactivity*) yang diperlukan antara lain untuk mengkompensasi terjadinya proses penyusutan atom  $^{235}\text{U}$ , serta timbulnya beberapa komponen reaktivitas negatif selama reaktor beroperasi. Komponen reaktivitas negatif reaktor antara lain berasal dari terbentuknya unsur hasil belah terutama Xenon dan Samarium, serta pengaruh kenaikan suhu dalam teras reaktor yang semuanya berdampak pada penurunan reaktivitas reaktor. Besarnya reaktivitas lebih dari teras reaktor sebanding dengan jumlah muatan elemen bahan bakar di dalam teras reaktor, yang dalam hal ini dibatasi oleh kemampuan pemadaman (*shutdown*) dari sistem pengendali reaktivitas yang ada, pada umumnya batang kendali [7].

#### Fenomena *Under* dan *Over* Moderator

Pengaruh dari variasi moderator dalam bahan bakar ( $N_{mod}/N_U$ ) yaitu adanya kondisi *over moderated* dan *under moderated*. Kondisi tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai  $k_{eff}$ . Pengaruh kondisi *over moderated* dan *under moderated* ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh *over* dan *under* moderasi pada

$k_{eff}$

Perbandingan antara  $N_{mod} / N_U$  berpengaruh terhadap probabilitas lolos resonansi dan factor utilitas termal. Dari gambar 1 terlihat titik puncak sebagai titik optimum. Ketika nilai  $N_{mod} / N_U$  meningkat diatas nilai optimum akan terjadi penurunan nilai  $k_{eff}$  akibat faktor utilitas termal yang menurun namun cacah neutron yang bocor keluar teras sedikit. Sedangkan bila nilai  $N_{mod} / N_U$  menurun dibawah nilai optimum maka yang terjadi nilai  $k_{eff}$  juga turun akibat dominansi serapan neutron.

Kondisi dimana nilai  $N_{mod} / N_U$  diatas nilai optimum maka dinamakan kelebihan moderasi (*over moderated*). Sedangkan kondisi dimana nilai  $N_{mod} / N_U$  dibawah nilai optimum dinamakan dibawah moderasi (*under moderated*) [7].

### Shutdown Margin

Salah satu mekanisme pengendalian reaktor adalah dengan mempertimbangkan *shutdown margin*, yang merupakan parameter kemampuan pemadaman operasi reaktor dari sistem pengendalian reaktivitas. Dapat pula didefinisikan sebagai selisih antara total reaktivitas batang kendali yang ada terhadap komponen reaktivitas positif yang perlu dikompensasi, dengan menganggap salah satu batang kendali dengan reaktivitas terbesar berada diluar teras (*fully out*) dan tidak berfungsi. Besarnya *shutdown margin* minimum pada reaktor nilainya berbeda beda. Ketika komponen reaktivitas negatif nilainya konstan, maka nilai reaktivitas positif meningkat sehingga *shutdown margin* semakin kecil. Besar kecilnya nilai *shutdown margin* minimum reaktor digunakan untuk membatasi nilai reaktivitas positif yang diizinkan [3]. Perhitungan untuk mendapatkan nilai *shutdown margin* yaitu:

$$SDM (\% \Delta k/k) = P_{batangkendali} - P_{excess} \quad (3)$$

$$P_{batangkendali} = \frac{k - k_1}{k_1 \times k_2} \quad (4)$$

$$P_{excess} = \frac{k_2 - 1}{k_2} \quad (5)$$

dimana,  $P_{excess}$  = reaktivitas lebih  
 $k_2$  =  $k_{eff}$  *fully up*  
 $k_1$  =  $k_{eff}$  *fully down*

## II. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi teras SAMOP menggunakan *software* MCNPX. Parameter teras sistem SAMOP yang dimodelkan mengacu pada proyek pengembangan SAMOP oleh Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN) BAPETEN yang dirinci pada Tabel 1.

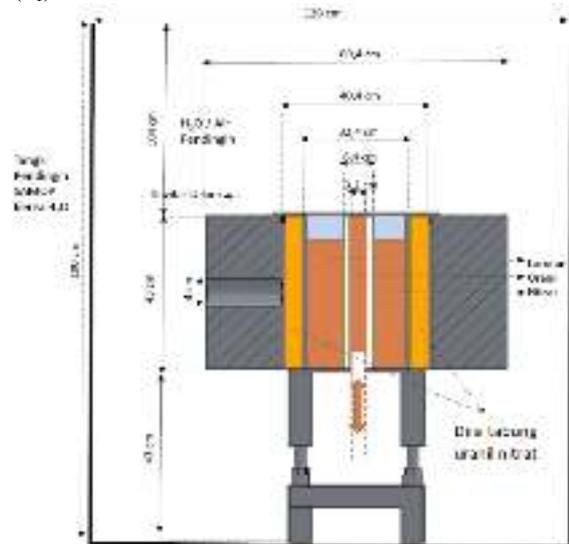
Tabel 1. Parameter SAMOP

Parameter	Nilai
Bahan bakar	$UO_2(NO_3)_2$
Pengayaan $^{235}U$	19,75 %
Diameter tabung uranil nitrat	3,7 cm
Material batang kendali	$B_4C$
Panjang batang kendali	43 cm
Densitas batang kendali	$2,4 \text{ g/cm}^3$
Diameter batang kendali	3,2 cm

Kelimpahan isotope boron	80 % $^{11}B$ dan 20 % $^{10}B$
Material reflektor	Grafit
Tebal reflektor	20 cm
Tinggi reflektor	43 cm
Densitas bahan reflektor	$1,67 \text{ g/cm}^3$
Volum teras	40,094 L
Volum uranil nitrat	24,3 L
Variasi konsentrasi uranum	200, 300, 400, 500 g/l
Daya	600 W

Tahap pertama adalah membuat input geometri teras sistem SAMOP, input material penyusun dan penyusun nilai kritikalitas mengacu pada Gambar 2 dan Tabel 1.

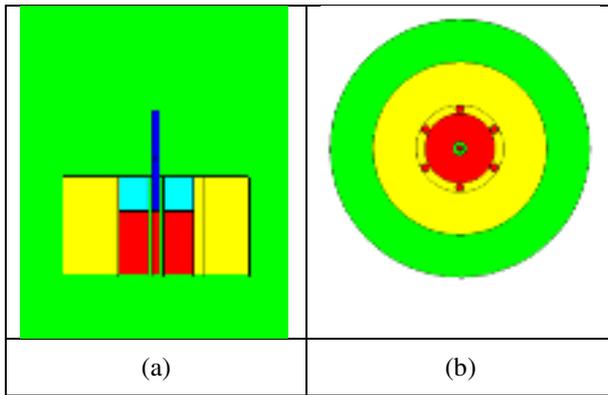
Tahap selanjutnya adalah variasi konsentrasi larutan uranil nitrat agar diperoleh konsentrasi mana yang memberikan nilai  $k_{eff}$  sebesar 0,99. Kemudian *running* program sehingga diperoleh nilai adalah  $k_{eff}$  ( $k_1$ ).



Gambar 2. Prototype SAMOP

Tahap selanjutnya adalah penyisipan batang kendali sehingga diperoleh nilai  $k_{eff}$  ( $k_2$ ). Batang kendali disipkan setinggi bahan bakar. Ketika batang kendali disipkan dalam teras otomatis tabung larutan bahan bakar uranil nitrat yang berada di pusat teras akan jatuh kebawah tangki. Nilai *shutdown margin* dihitung menggunakan persamaan (2).

Hasil pemodelan menggunakan *software* MCPX ditunjukkan oleh Gambar 3.



**Gambar 3.** Geometri teras SAMOP yang diproyeksikan pada (a) bidang XZ dan (b) bidang XY

Keterangan setiap gambar:

Warna merah : bahan bakar + moderator air

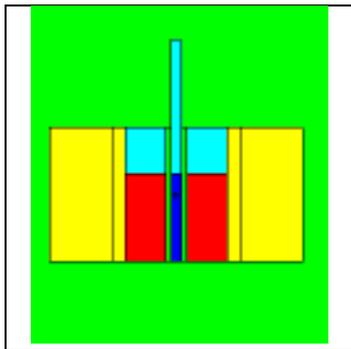
Warna hijau : pendingin (air)

Warna kuning : reflektor (grafit)

Warna biru muda : udara

Warna biru tua : batang kendali (boron karbida)

Batang kendali yang dimasukkan setinggi bahan bakar yang ditunjukkan oleh Gambar 4.



**Gambar 4.** Geometri teras SAMOP ketika batang kendali dimasukkan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 2 disajikan nilai  $k_{eff}$  dari berbagai variasi konsentrasi

**Tabel 2.** Nilai  $k_{eff}$  berbagai variasi konsentrasi

Konsentrasi gU/cm <sup>3</sup>	$k_{eff}$ Fully up	$k_{eff}$ Fully down
200	0,93615	0,89173
300	0,9922	0,94403
400	1,00291	0,95349
500	0,98176	0,9307

Pada Tabel 2 dihasilkan nilai  $k_{eff}$  ketika batang kendali diangkat (*fully up*) yang nilainya naik turun. Puncak kenaikan terjadi pada konsentrasi 400 g/l yang didapatkan nilai  $k_{eff}$  mencapai kritis. Kemudian pada konsentrasi 500 g/l terjadi penurunan nilai  $k_{eff}$  hal ini disebabkan karena komposisi uranium dengan moderator ( $N_{mod} / N_U$ ) mempengaruhi nilai  $k_{eff}$ . Karena sistem yang dipakai untuk SAMOP berada pada

kondisi subkritis, dapat ditetapkan konsentrasi yang memberikan nilai  $k_{eff}$  sebesar 0,99 adalah konsentrasi 300 g/l.

Batang kendali yang dimasukkan dalam teras sistem SAMOP menghasilkan nilai  $k_{eff}$  yang menurun. Setelah diperoleh konsentrasi yang memberikan nilai  $k_{eff}$  sebesar 0,99, dilakukan perhitungan nilai *shutdown margin* yang nilainya ditampilkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter Perhitungan Nilai *Shutdown Margin*

$\rho_{Batang}$ kendali	$\rho_{excess}$	SDM(% $\Delta k/k$ )	Kategori Keamanan
0.053211	-0.0682	12,14157	Memenuhi
0.051427	-0.00786	5,928837	Memenuhi
0.05168	0.002902	4,87787	Memenuhi
0.055881	-0.01858	7,446008	Memenuhi

Nilai pada kolom 1 diperoleh dari hasil kalkulasi matematis menggunakan persamaan (4) sedangkan pada kolom 2 menggunakan persamaan (5). Kemudian nilai SDM didapat dari perhitungan manual menggunakan persamaan 3. Dari nilai SDM yang ditunjukkan oleh Tabel 3, sistem SAMOP memenuhi kategor keamanannya karena nilai SDM lebih besar dari batas nilai SDM minimum yang ditetapkan yaitu 0,5 % $\Delta k/k$ .

### IV. KESIMPULAN

Nilai  $k_{eff}$  sebesar 0,99 dihasilkan pada sistem SAMOP dengan konsentrasi larutan uranil nitrat 300 g/l. Ketika batang kendali dimasukkan setinggi larutan bahan bakar dalam teras sitem SAMOP maka  $k_{eff}$  akan turun. Reaktor dengan konsentrasi 300 g/l berada pada kondisi aman ditinjau dari nilai *shutdown margin*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, (1997), Undang-undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23
- [2] Awaluddin, R. (2011). Radioisotop teknisium-99m dan kegunaannya. Iptek Ilmiah Populer, Vol 3(2), 61-65.
- [3] Prabudi, C., Widiharto, A., & Sihana. (2013). Pengaruh tettingian larutan bahan bakar pada kekritisian aquaeous homogeneous reactor. TEKNOFISIKA, Vol.2(2) Edisi Mei.
- [4] Sutondo, T. (2010). Analisis pengaruh pengoperasian terhadap kemampuan shutdown batang kendali pada reaktor kartini. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, 1978-0176.
- [5] Arrozaqi, I. (2014). Dasar-Dasar Pemrograman MCNPX. Yogyakarta: PSTA BATAN
- [6] Syarip, Taxwim, & Karmanto, E. (2016). Program Utilitas Beamport Reaktor Kartini untuk Pengembangan Subcritical Assembly for 99Mo Production (SAMOP). Yogyakarta: PSTA BATAN

- [7] Haditjahyono, H. (2005). Persyaratan Keselamatan Untuk Keselamatan Reaktor Riset (Terjemahan dokumen IAEADS272: Safety Requirements on Safety of Research Reactors). BATAN: Pusat Pendidikan dan Pelatihan
- [8] DOE. (1993). DOE Fundamentals Handbook, Nuclear Physics and Reactor Theory Volume 1 of 2. Washington D.C: Departement of Energy U.S.
- [9] Syarip, Sutondo, T., & Sarjono, Y. (2006). Aspek safeguard dan proteksi fasilitas perangkat subkritis SAMOP. Seminar Keselamatan Nuklir, 1412-3258.
- [10] IAEA. (2006). Homogeneous aqueous solution nuclear reactor for the production of  $^{99}\text{Mo}$  and other short lived radioisotop. IAEA TECDO Report 1601. September, Vienna, Austria



## KAJIAN KESELAMATAN ASPEK LEPASAN BAHAN BERBAHAYA ETILEN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ALOHA

Nur Siwhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir-BAPETEN

e-mail: n.siwhan@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Evaluasi tapak merupakan salah satu tahapan proses perijinan yang harus dilakukan oleh pemohon izin untuk mendapatkan izin dalam pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir di Indonesia. Salah satu evaluasi tapak yang perlu dianalisis adalah aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia. Salah satu permasalahan dalam aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia yang perlu dikaji adalah lepasan fluida berbahaya dan beracun serta ledakan dari industri petrokimia dimana analisis tersebut harus bisa memodelkan penjarangan kecelakaan (*efek domino*) untuk masing-masing aspek. Untuk tujuan tersebut, aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia terutama untuk lepasan bahan berbahaya dan ledakan dari industri petrokimia ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*). Telah dilakukan pemodelan dengan dua skenario analisis bahaya yaitu terjadi kebocoran etilen dari lubang pada tangki silinder, sehingga diasumsikan etilen yang mudah terbakar lepas dari tangki tetapi tidak terjadi kebakaran dan skenario yang kedua adalah terjadi kebocoran etilen dari lubang pada tangki silinder, sehingga diasumsikan bahan kimia yang mudah terbakar lepas dari tangki dan terdapat sejumlah gas mudah terbakar dari awan lepasan tersebut. Terlihat bahwa berdasarkan pemodelan terdapat beberapa keterbatasan dalam pemenuhan persyaratan dalam Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 yang tidak dapat diselesaikan dengan perangkat lunak ini.

**Kata kunci:** evaluasi tapak, ALOHA, pemenuhan persyaratan

### ABSTRACT

*Site evaluation is one part of the licensing process that must be submitted by applicant to obtain license to construct and operate nuclear installation in Indonesia. One of the site evaluations that need to be analyzed is human-induced external event. One of the problems in the human-induced external hazard aspect that needs to be studied is the release of toxic fluid as well as explosions from the petrochemical industry where this analysis should be able to model the propagation of accidents (domino effects) for each aspect. For this purpose, the human-induced external event for the release of hazardous and explosive materials from the petrochemical industry are carried out using ALOHA software (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Modelling has been done in two scenarios to cope with this hazard, first is assumed that ethylene is susceptible to release from the tank and there is no fire occurred and the second scenario is assumed that the ethylene are released from the tank and there are some flammable gas from the vapor cloud. Based on this modeling there are lack of fulfillment of requirements in BCR No. 6 Year of 2008 that cannot be solved with this software.*

**Keywords:** site evaluation, ALOHA, fulfillment of requirement

### I. PENDAHULUAN

Evaluasi tapak merupakan salah satu tahapan proses perijinan yang harus dilakukan oleh pemohon izin untuk mendapatkan izin dalam pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir di Indonesia. Dalam Pasal 1 Perka BAPETEN No. 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir Evaluasi tapak adalah kegiatan analisis atas setiap sumber kejadian di tapak dan wilayah sekitarnya yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan reaktor nuklir [1].

Berdasarkan Bab II Pasal 4 butir a Perka BAPETEN No 5 Tahun 2007, dalam evaluasi tapak, PET (Pemohon Evaluasi Tapak) harus mempertimbangkan aspek berikut: pengaruh kejadian eksternal di tapak dan wilayah sekitarnya baik yang berasal dari kejadian alam antara lain kejadian geologi,

seismologi, meteorologi maupun kejadian akibat kegiatan atau ulah manusia terhadap keselamatan reaktor nuklir antara lain berasal dari instalasi kimia, lepasan racun dan gas mudah terbakar, dan jatuhnya pesawat terbang [1].

Aspek kegiatan atau ulah manusia dalam Perka BAPETEN No. 5 Tahun 2007 tersebut dibahas lebih rinci dalam Perka BAPETEN No 6 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia. Dalam Pasal 2 ayat 1 Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 berbunyi Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur PET dalam melakukan evaluasi tapak reaktor daya untuk aspek kejadian eksternal akibat ulah manusia yang tidak disengaja dan berasal dari sumber di sekitar tapak yang tidak secara langsung terkait dengan status operasi di reaktor daya meliputi, a. jatuhnya pesawat terbang, b. lepasan fluida

berbahaya dan beracun, c. ledakan, d. kejadian eksternal lainnya yang diakibatkan oleh manusia dan e. bahan berbahaya dan beracun dari fasilitas lain yang terletak pada tapak yang sama yang ditangani selama tahap konstruksi, operasi dan dekomisioning [2].

Perka tersebut mensyaratkan bahwa untuk analisis aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia harus bisa memodelkan penjaluran kecelakaan (efek domino) untuk masing-masing aspek, seperti yang tercantum dalam lampiran Bab II No. 13 bahwa penjaluran kecelakaan misalnya kebakaran yang menyebar dari satu tangki ke tangki yang lain harus dipertimbangkan [2].

Salah satu permasalahan dalam aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia yang perlu dikaji adalah lepasan fluida berbahaya dan beracun serta ledakan dari industri petrokimia.

Makalah ini membahas contoh analisis keselamatan aspek kejadian eksternal akibat ulah manusia untuk lepasan bahan kimia dan berbahaya serta ledakan, terutama untuk industri petrokimia yang menggunakan bahan kimia etilen yang akan dianalisis menggunakan perangkat lunak ALOHA yang bertujuan untuk mengkonfirmasi apakah perangkat lunak ini memadai untuk analisis penjaluran kecelakaan tersebut seperti yang dipersyaratkan dalam Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008.

## II. METODOLOGI

### Perangkat Lunak ALOHA

Aloha merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dan didukung oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) dan bekerjasama dengan *Office of Emergency Management of the Environmental Protection Agency* (EPA)[3].

ALOHA didesain untuk memberikan batas atas di dalam jarak ancaman terkait dengan tumpahan bahan kimia biasanya untuk kecelakaan transportasi dengan jangkauan ancaman 100 – 10.000 m. ALOHA dibatasi untuk bahaya pada uap kimia atau zat kimia yang dapat menguap[3].

ALOHA memberikan estimasi spasial bahaya terkait dengan lepasan kecelakaan jangka pendek dari volatile dan bahan kimia mudah terbakar. Terdapat beberapa kombinasi model kekuatan sumber, skenario dan kategori bahaya yang dimungkinkan dalam ALOHA (Tabel 1)[3].

**Tabel 1.** Kategori bahaya yang dapat dimodelkan di ALOHA

Skenario/Sumber	Sumber langsung	Tangki	Genangan	Jalur pipa gas
Awan uap	Uap beracun	Uap beracun	Uap beracun	Uap beracun
Awan uap (nyala api)	Wilayah mudah terbakar	Wilayah mudah terbakar	Wilayah mudah terbakar	Wilayah mudah terbakar
Awan uap (ledakan)	Tekanan berlebih	Tekanan berlebih	Tekanan berlebih	Tekanan berlebih
Kebakaran kolam	-	Radiasi panas	Radiasi panas	-
<i>Bleve</i>	-	Radiasi	-	-

(Nyala api bola)		panas		
Api jet	-	Radiasi panas	-	Radiasi panas

ALOHA memberikan tingkatan perhatian (*LOC/level of concern*) untuk menjelaskan akibat dari keluk (*plume*) udara beracun, kebakaran dan ledakan ke populasi manusia. LOC memberikan berapa level (konsentrasi ambang) paparan kimia dapat membahayakan manusia jika mereka menghirupnya pada rentang waktu yang ditentukan[4].

LOC ini dalam ALOHA berupa PAC yang merupakan sistem didasarkan pada tingkatan dari sistem pedoman paparan ke masyarakat, dimana pedoman ini ditujukan untuk memprediksi bagaimana anggota masyarakat akan terpengaruh (yaitu keparahan bahaya) jika mereka terpapar zat kimia pada kondisi keadaan darurat[4].

ALOHA memungkinkan untuk menetapkan tiga LOC, sehingga dapat ditentukan nilai PAC-1, PAC-2 dan PAC-3 untuk membuat estimasi zona ancaman dimana zona kuning, oranye dan merah mengindikasikan wilayah dimana nilai LOC diprediksi terlampaui pada beberapa titik setelah terjadi lepasan zat kimia. Zona merah mengindikasikan LOC yang paling berbahaya[4].

Model dispersi yang digunakan dalam ALOHA adalah Model Gaussian, dimana rumus umum untuk model keluk Gaussian adalah sebagai berikut[5]:

$$X(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

Dimana:

$\chi$  = konsentrasi atmosfer ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) untuk lepasan kimia  
 $Q$  = laju lepasan suku sumber ( $\text{mg}/\text{s}$ ) untuk lepasan kimia

$x$  = jarak *downwind* (relatif ke lokasi sumber) [m]

$y$  = jarak *crosswind* (relatif ke pusat keluk) [m]

$z$  = jarak vertikal axis (relatif ke tanah) [m]

$H$  = ketinggian lepasan efektif (relatif ke tanah) [m]

$\sigma_y$  = koefisien dispersi horizontal (fungsi  $x$ ), menggambarkan penyimpangan standar dari distribusi konsentrasi dalam arah axis *crosswind* [m]

$\sigma_z$  = koefisien dispersi vertikal (fungsi  $x$ ), menggambarkan penyimpangan standar dari distribusi konsentrasi dalam arah vertikal axis *crosswind* [m]

$u$  = kecepatan angin rata-rata ( $\text{m}/\text{s}$ )

### Bahan kimia etilen

Etilena merupakan senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia  $\text{C}_2\text{H}_4$ . Senyawa ini memiliki nama IUPAC *ethene*, dan dikenal juga dengan nama *elayl*, *acetene*, *bicarburetted hydrogen*, *olefiant gas*, *refrigerant gas* R1150. Senyawa ini memiliki titik beku  $-169,15^\circ\text{C}$  dan titik didih  $-103,77^\circ\text{C}$ . Pada suhu kamar dan kondisi atmosferis senyawa ini berbentuk gas yang berbahaya dan mudah terbakar, oleh karenanya etilen biasa disimpan pada tekanan tinggi atau suhu rendah dengan fasa cair.

Sifat senyawa etilen yang reaktif menjadikan etilen sebagai senyawa yang penting dalam perindustrian. Reaksi-reaksi pada etilen diantaranya reaksi polimerisasi, oksidasi, halogenasi, dan oligomerasi. Reaksi polimerisasi etilen akan menghasilkan *low density polyethylene* (LDPE), *linear low density polyethylene* (LLDPE), dan *high density polyethylene* (HDPE) sesuai dengan kondisinya.

Berdasarkan lembar data kimia dari *Cameo Chemical*, senyawa etilen merupakan gas yang tidak berwarna, sifatnya lebih ringan dari udara. Sangat mudah terpancang, dan api dapat cepat balik ke sumber kebocoran. Pada kondisi terpapar api atau panas, tangki penyimpanan dapat meledak. Senyawa etilen ini juga jika bereaksi dengan air dan udara maka sangat mudah terbakar[6].

### Data Pemodelan

Bahan kimia yang digunakan dalam pemodelan adalah etilen ( $C_2H_4$ ) seperti yang telah dijelaskan di awal. Etilen ini disimpan di dalam tangki silinder dengan diameter tangki adalah 9 m dan tinggi 11 m. Volume tangki ini 699.790 liter. Masa etilen yang disimpan dalam tangki tersebut adalah 380 ton (90% volume tangki).

Masa yang digunakan dalam pemodelan ini melebihi nilai ambang kuantitas yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Tenaga Kerja RI, No.KEP.187/MEN/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di Tempat Kerja yaitu sebesar 50 ton, sehingga berdasarkan Kepmen ini maka industri yang menggunakan bahan ini termasuk ke dalam industri yang mempunyai potensi bahaya besar[7].

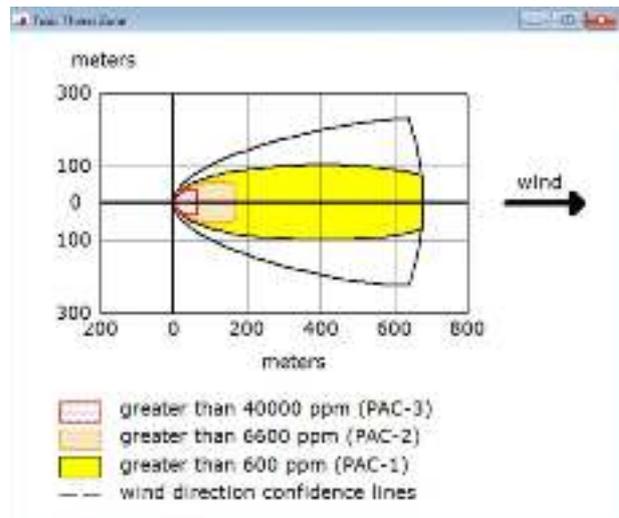
Data meteorologi menggunakan kecepatan angin 3,5 m/s yang bertiup dari arah barat, dan diukur pada ketinggian 10 m. Temperatur udara 30°C dengan kelembaban relatif adalah 75%. Kekasaran permukaan tanah menggunakan *open country* yang berarti bahwa kekasaran permukaan adalah 0,03 m.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat dua skenario yang digunakan dalam kajian ini:

Skenario pertama terjadi kebocoran dari lubang pada tangki silinder, sehingga diasumsikan bahan kimia yang mudah terbakar lepas dari tangki tetapi tidak terjadi kebakaran. Kebocoran yang diasumsikan adalah sebesar 3 cm secara melingkar yang terjadi pada ketinggian 0,9 m dari dasar tangki.

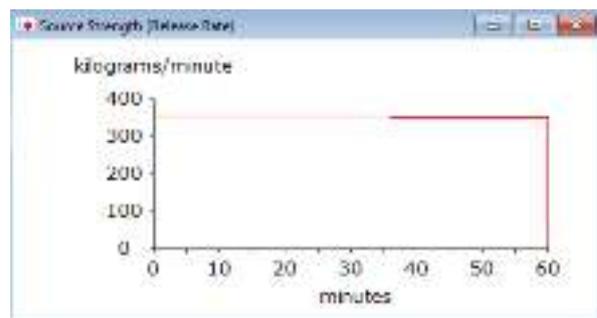
Berdasarkan pemodelan yang dilakukan, terdapat potensi bahaya dari bahan kimia mudah terbakar yang tidak terbakar yaitu terdapatnya wilayah yang terkena efek bahan beracun yang terbawa arah angin yaitu ke arah timur (Gambar 1).



Gambar 1. Wilayah ancaman gas beracun

Dari Gambar 1 tersebut terlihat bahwa jangkauan paling jauh di PAC-1 (*protective action criteria*) adalah sejauh sekitar 700 m, dengan konsentrasi sebesar 600 ppm. PAC-2 adalah sejauh 170 m dengan konsentrasi sebesar 6600 ppm, sedangkan PAC-3 adalah sejauh 65 m dengan konsentrasi 40.000 ppm.

Untuk kekuatan lepasan dari bahan kimia tersebut dapat dilihat di Gambar 2.



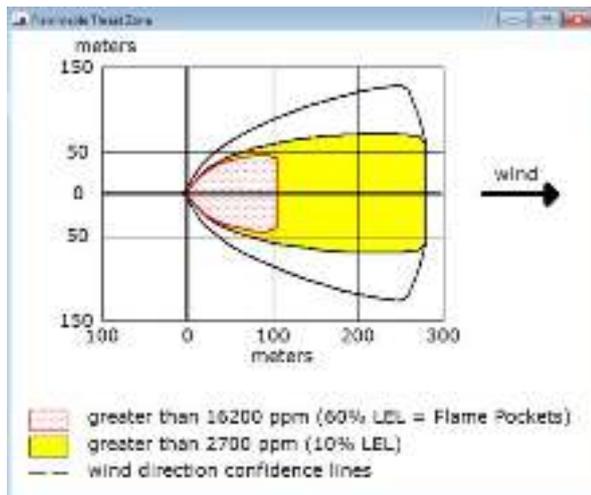
Gambar 2. Laju lepasan sumber

Dari Gambar 2 tersebut terlihat bahwa terjadi lepasan bahan beracun sebesar 350 kg/menit dengan laju lepasan yang relatif konstan selama 1 jam.

Skenario kedua terjadi kebocoran dari lubang pada tangki silinder, sehingga diasumsikan bahan kimia yang mudah terbakar lepas dari tangki dan terdapat sejumlah gas mudah terbakar dari awan lepasan tersebut. Kebocoran yang diasumsikan adalah sebesar 3 cm secara melingkar yang terjadi pada ketinggian 0,9 m dari dasar tangki.

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan, terdapat potensi bahaya dari bahan kimia mudah terbakar yaitu terdapatnya sejumlah gas yang dapat terbakar pada nilai 60% LEL (Gambar 3).

LEL merupakan konsentrasi minimal dari gas tertentu yang mudah terbakar atau uap yang dibutuhkan untuk mendukung pembakaran di udara. Dibawah level ini, campuran terlalu sedikit untuk terbakar.



Gambar 3. Wilayah mudah terbakar

Dari Gambar 3 tersebut bahwa terdapat wilayah yang mudah terbakar sampai jarak paling jauh 280 m untuk nilai lebih dari 2700 ppm (10% LEL). Sedangkan untuk 60% LEL yang bernilai lebih dari 16.200 ppm sejauh 100 m. wilayah yang mudah terbakar ini artinya adalah bahwa wilayah tersebut sangat mudah terbakar jika terdapat sumber pemantik akibat terdapatnya awan yang terdiri dari campuran uap bahan kimia mudah terbakar dan udara.

Berdasarkan kedua skenario tersebut terlihat bahwa ALOHA dapat digunakan sebagai identifikasi awal untuk menggambarkan kondisi daerah rawan bahaya karena lepasnya zat berbahaya yaitu etilen. Berdasarkan hasil dari kedua skenario tersebut terlihat juga bahwa ALOHA dapat memodelkan daerah bahaya selama 1 jam, tidak terdapat pilihan yang dapat digunakan untuk mengatur berapa konsentrasi zat yang terlepas selama 5 menit, 10 menit, ataupun 30 menit, semua diasumsikan bahwa dalam waktu 0-1 jam konsentrasi bahan beracun yang dilepaskan adalah sama, begitu juga dengan wilayah mudah terbakar.

Perangkat lunak ini merupakan perangkat lunak yang berdasarkan pada asumsi satu kejadian tunggal, sehingga perangkat lunak ini tidak mampu untuk memodelkan efek domino atau penjaran kecelakaan, sehingga perangkat lunak ini tidak dapat menjawab kebutuhan akan persyaratan yang ditetapkan dalam Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 tersebut.

Terlepas dari beberapa keterbatasan yang ada dalam perangkat lunak ini, perangkat lunak ini dapat digunakan sebagai alat analisis awal untuk memperoleh gambaran analisis keselamatan aspek ledakan dan lepasan bahan berbahaya dan beracun secara umum.

#### IV. KESIMPULAN

Evaluasi tapak merupakan salah satu tahapan proses perijinan yang harus dilakukan oleh pemohon izin untuk mendapatkan izin dalam pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir di Indonesia.

Aspek bahaya eksternal akibat ulah manusia terutama untuk lepasan bahan berbahaya telah dilakukan menggunakan perangkat lunak ALOHA.

Berdasarkan pemodelan yang dilakukan dengan dua skenario terlihat bahwa terdapat beberapa keterbatasan dalam pemenuhan persyaratan dalam Perka

BAPETEN No. 6 Tahun 2008 yang tidak dapat diselesaikan dengan perangkat lunak ini yaitu bahwa perangkat lunak ini hanya mampu memodelkan langsung selama 1 jam dan juga perangkat lunak ini tidak mempunyai kemampuan untuk memodelkan penjaran kecelakaan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN (2007) Perka Kepala BAPETEN No. 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir. Jakarta
- [2] BAPETEN (2008) Perka Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia. Jakarta
- [3] NOAA (2013) ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4. Washington
- [4] <http://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/chemical-spills/resources/protective-action-criteria-chemicals-pacs.html> diakses pada tanggal 7 Juli 2017 jam 09.10 WIB.
- [5] U.S. DOE Office of Environment, Safety and Health (2004) ALOHA Computer Code Application Guidance for Documented Safety Analysis Washington DC 20585-2040
- [6] <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8655> diakses pada tanggal 13 Mei 2017 jam 23.40 WIB.
- [7] KEMENAKER (1999) Keputusan Menteri Tenaga Kerja RI No.KEP.187/MEN/1999 tentang Pengendalian Bahan Kimia Berbahaya di Tempat Kerja.



## EVALUASI KESELAMATAN HTR-10 KETIKA TERJADI KECELAKAAN KOMPAKSI BAHAN BAKAR DENGAN KODE MVP

Uswatun Chasanah<sup>1</sup>, Riyatun<sup>1</sup>, Suharyana<sup>1</sup>, Azizul Khakim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Group Riset Nuklir dan Radiasi, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

<sup>2</sup>Bidang PRND, PPSTPIBN, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta

e-mail: [riyatun@staff.uns.ac.id](mailto:riyatun@staff.uns.ac.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi HTR-10 menggunakan kode MVP, terkait keselamatan HTR-10 akibat kompaksi bahan bakar. Monte Carlo Visual Program (MVP) merupakan *software* berbasis Monte Carlo yang dikembangkan oleh Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). Kode MVP dipilih karena mampu melakukan pemodelan secara acak dengan menggunakan *lattice type statistical geometry*. Simulasi dilakukan dengan menggunakan data *library* JENDL-3,3. Bahan bakar HTR-10 adalah  $UO_2$  berlapis TRISO dan terdistribusi secara acak di dalam *pebble*. Susunan bahan bakar *pebble bed* dimungkinkan terkompaksi apabila terjadi getaran yang kuat mengguncang teras reaktor, misalnya diakibatkan oleh gempa bumi. Kompaksi bahan bakar ditandai dengan nilai *Packing Fraction* (FP) yang merupakan perbandingan antara jumlah volume seluruh bahan bakar dan volume teras, disimulasikan dari FP 85% hingga 95% dengan interval 2,5%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin terkompaksi, maka nilai kritikalitas semakin meningkat. Pada kondisi tanpa batang kendali (*fully up*) hasil variasi kompaksi bahan bakar menyebabkan HTR-10 berada dalam keadaan superkritis dengan nilai  $k_{eff}$  dari 1,05852 hingga 1,06674. Reaktor berada dalam keadaan superkritis dengan kenaikan nilai reaktivitas 0,7% yaitu dari 0,055285 hingga 0,062564. Simulasi berikutnya adalah memasukkan batang kendali, pada keadaan tercelup penuh (*fully down*) reaktor dapat berada dalam kondisi subkritis. Pada simulasi ini dihasilkan nilai *shutdown margin* diatas 0,5 % dk/k. Dari hasil simulasi disimpulkan bahwa reaktor menuju superkritis jika terjadi kompaksi bahan bakar pada semua variasi *Packing Fraction*. Dengan memasukkan semua batang kendali maka reaktivitas menjadi negatif dan nilai SDM memperlihatkan reaktor berada dalam kondisi aman apabila terjadi kecelakaan tersebut.

**Kata kunci :** HTR-10, kode MVP, *Packing Fraction*, *shutdown margin*

### ABSTRACT

*HTR-10 simulation has been performed using MVP code, related to safety of HTR-10 due to fuel compaction. The Monte Carlo Visual Program (MVP) is a Monte Carlo based software developed by Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI). The MVP code was chosen because it was able to do random modeling using statistical geometry type lattice. The simulation is done using JENDL-3,3 data library. The HTR-10 fuel is TRISO-coated  $UO_2$  and is randomly distributed inside the ball (pebble). The pebble bed fuel arrangement is possible to be compacted in case of strong vibrations rocking the reactor core, for example, caused by an earthquake. Fuel compaction is marked by the value of Packing Fraction (FP) which is the ratio between the total volume of fuel and the core volume, from FP 85% to 95% with 2.5% intervals. Simulation results show that the more compacted, then the value of criticality is increasing. In a fully fueled compact condition variation, the HTR-10 is in a supercritical state with a  $k_{eff}$  value of 1.05852 to 1.06674. The reactor is in a supercritical state with an increase in reactivity value from 0.055285 to 0.062564 or by 0.7%. The next simulation is to enter the control rod, in a fully-dormed state the reactor can be in subcritical condition. This simulation resulted in a shutdown margin value above 0.5% dk / k. From the simulation results it is concluded that the reactor is going to supercritical in case of fuel compaction in all variations of Packing Fraction. By entering all the control rods the reactivity becomes negative and the human resource value shows the reactor in a safe condition in case of the accident.*

**Keywords:** HTR-10, MVP code, *Packing Fraction*, *shutdown margin*

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan dari Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di dunia telah mencapai generasi ke IV, dimana pengembangan teknologi reaktor disebut dengan reaktor maju (*advanced reaktor*) [1]. Salah satu tipe reaktor maju adalah *High Temperature Reaktor* (HTR). HTR merupakan reaktor berpendingin helium dan grafit sebagai moderatornya. Bahan bakarnya adalah material fisil uranium dioksida ( $UO_2$ ), yang dilapisi bahan

keramik tahan suhu tinggi. Konsep dari bahan bakar HTR dimaksudkan untuk mendapatkan satuan bahan yang sekecil mungkin dan mampu mengungkung produk fisi yang dihasilkan. Agar dapat mengungkung produk fisi ini, digunakan partikel yang berlapis pada bahan bakar  $UO_2$ . Material berlapis yang digunakan jenis *Tri Structural Isotropic* (TRISO) dengan komposisi utama SiC. Keramik SiC ini dipilih karena mampu bertahan pada suhu tinggi [2]. Perbandingan

antara jumlah *pebble* bahan bakar dan *pebble* moderator adalah 57/43 [3]. Bahan bakar *pebble bed* HTR-10 dimasukkan pada teras secara acak tanpa menggunakan susunan tertentu.

HTR-10 selalu terikat dengan karakteristik uniknya yang meliputi keselamatan melekat (*inherent safety*), fleksibilitas daur bahan bakar dan efisiensi termal yang tinggi, membuat HTR muncul sebagai kandidat untuk pembangkit listrik di masa depan. Karena keunikannya, pengkajian mengenai HTR-10 semakin marak dilakukan. Menurut peraturan BAPETEN No 3 pasal 16 tentang desain reaktor daya harus memenuhi beberapa kriteria. Kriteria tersebut diantaranya meliputi aspek keselamatan, keandalan, dan mutu sesuai dengan peraturan perundang-undangan, *code* dan standar [4].

Reaktivitas merupakan besaran yang menyatakan seberapa besar nilai kekritisitas suatu reaktor [5]. Nilai reaktivitas bergantung pada nilai kritikalitas reaktor, sedangkan nilai kritikalitas berkaitan dengan laju reaksi. Perubahan reaktivitas dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal diantaranya adalah malfungsi reaktor, kegagalan aliran pendingin, reaksi kimia isoteremis, serta kecelakaan terkait keamanan. Faktor eksternal yang dapat terjadi antara lain adalah kegempaan, letusan gunung berapi, maupun kesalahan teknis yang disebabkan oleh faktor manusia.

Salah satu penyebab perubahan reaktivitas reaktor adalah gempa. Kecelakaan yang timbul akibat adanya gempa adalah kompaksi bahan bakar. Saat bahan bakar terkompaksi, dengan massa yang sama, volume dari keseluruhan sistem bahan bakar berubah menjadi lebih kecil, sehingga kerapatan massanya menjadi lebih besar. Perubahan kerapatan massa ini akan berpengaruh terhadap kekritisitas reaktor, sehingga nilai reaktivitas juga akan berubah.

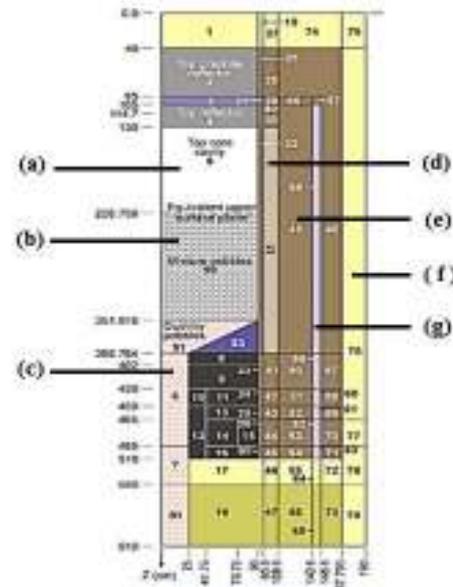
Untuk mengatasi kondisi reaktor yang berada dalam keadaan darurat, maka batang kendali akan dimasukkan untuk mengontrol nilai reaktivitasnya. Untuk mengetahui jarak dari kondisi kritis ke kondisi subkritis sebagai batas ketika batang kendali dimasukkan, maka diperlukan nilai *shutdown margin* (SDM) yang didefinisikan sebagai pengurangan antara reaktivitas total batang kendali dengan reaktivitas lebih. Nilai SDM minimum untuk reaktor riset adalah 0,5 % dk/k [6].

$$SDM = \rho_{total\ rod} - \rho_{excess} \quad (1)$$

Pemodelan komputer diperlukan guna mengembangkan kajian tentang reaktor. Keuntungan dari pemodelan adalah untuk memudahkan dalam perancangan dengan atau tanpa penelitian secara langsung. *Code* MVP merupakan *software* berbasis Monte Carlo yang dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute* (JAERI). *Code* MVP dipilih karena mampu melakukan pemodelan secara acak seperti di HTR-10, dengan menggunakan *lattice tipe statistical geometry* [7]. *Code* MVP juga melakukan simulasi reaktivitas umpan balik (*feedback reactivity*) akibat kompaksi bahan bakar.

## II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode simulasi HTR-10 menggunakan *code* MVP. Material yang digunakan dalam simulasi mengacu pada data library JENDL-3,3. Inputan utama dalam *code* MVP meliputi kontrol data, *cross section*, geometri, pendefinisian sumber serta inputan CGView. Inputan CGView ini berfungsi untuk mengatur koordinat pada saat menampilkan visual 2 dimensi dari program yang telah dibuat.



Gambar 1. Tampang lintang dari HTR-10 [8]

Parameter lainnya terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Desain HTR-10 [5]

Parameter	Nilai	Satuan
Daya termal	10	MW
Volum teras aktif	15	m <sup>3</sup>
Power density rata-rata	2	MW/m <sup>3</sup>
Tekanan helium primer	3	MPa
Suhu helium inlet	250-300	°C
Suhu helium outlet	700-900	°C
Massa helium per detik	4,3-3,2	kg/s
Bahan bakar	UO <sub>2</sub>	-
Densitas Buffer	1,10	g/cm <sup>3</sup>
Densitas IpyC	1,80	g/cm <sup>3</sup>
Densitas SiC	3,18	g/cm <sup>3</sup>
Densitas OpyC	1,90	g/cm <sup>3</sup>
Pengayaan <sup>235</sup> U	17	g/cm <sup>3</sup>
Densitas UO <sub>2</sub>	10,40	g/cm <sup>3</sup>
Diameter teras	180	cm
Diameter batang kendali	13	cm
Diameter bahan bakar	60	mm
Jumlah bahan bakar	27.000	Buah
Rata-rata burn-up	80.000	MWd/ton

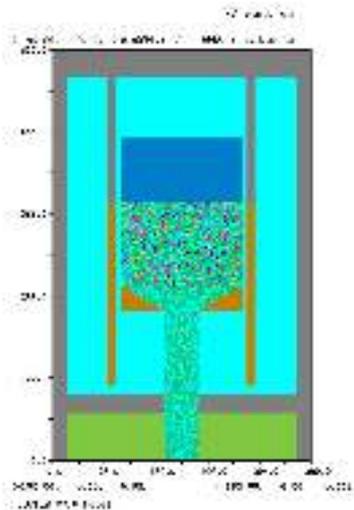
Parameter HTR-10 mengacu pada penelitian Terry, 2006 serta spesifikasi data HTR-10 dari IAEA. Keterangan dari Gambar 1 adalah sebagai berikut :

- Top cavity*, merupakan rongga antara *fuel pebble* dengan reflektor yang berisi udara. Ukuran *top cavity* adalah tinggi 98,758 cm dan jari jari 90 cm

- b. Teras reactor, berisi bahan bakar Uranium yang diperkaya 17%. Uranium ini dilapisi oleh lapisan TRISO yang tersusun secara acak di dalam *pebble bed*. *Pebble* bahan bakar di dalam teras berjumlah 27.000 terdistribusi dengan *Packing Fraction* 85%.
- c. *Dummy pebble*, merupakan *pebble* berisi grafit yang dihomogenkan dengan diameter 60 mm. *Dummy pebble* ini berfungsi sebagai moderator
- d. Batang kendali, berperan sebagai penyerap neutron dan mengendalikan reaktivitas reaktor. Material batang kendali adalah *boronated carbon*. Batang kendali akan jatuh pada ruang batang kendali jika system reaktor memerlukannya.
- e. Reflektor sebagai pemantul neutron terletak mengelilingi teras reaktor, dengan material grafit terdiri dari 3 bagian yaitu reflektor atas, samping dan bawah.
- f. Lapisan *boronated carbon* merupakan lapisan paling luar yang menyelimuti sistem HTR-10 dengan ketebalan 28,2 cm pada bagian samping dan 40 cm pada bagian atasnya.
- g. Aliran pendingin berisi gas helium, dimana terdapat 20 saluran pendingin yang mengelilingi teras.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi normal HTR-10 diasumsikan mempunyai *Packing Fraction* 85% pada terasnya. Nilai  $k_{eff}$  pada keadaan ini adalah  $(1,05521 \pm 0,00287)$ . Variasi simulasi yang dilakukan adalah kompaksi bahan bakar, dengan nilai *Packing Fraction* dari kondisi normal 85% hingga 95% dengan interval 2,5%.



**Gambar 2.** Kompaksi dengan *Packing Fraction* 95% kondisi batang kendali *Fully up*.

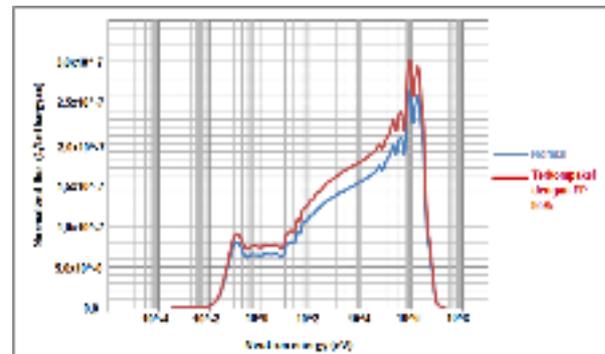
Pada kondisi normal tinggi teras 141,1765 cm diameter 180 cm. Saat terjadi kompaksi bahan bakar, maka tinggi teras untuk tempat bahan bakar mengalami penurunan. Kondisi terkompaksi maksimum dengan nilai *Packing Fraction* 95% dengan perubahan tinggi teras menjadi 126,316 cm yang ditunjukkan oleh Gambar 2. dengan nilai kompaksi maksimum yaitu 95%. Karena volum bahan bakar tetap sedangkan volum teras mengalami penurunan, sehingga kerapatannya

bertambah. Kerapatan ini sebanding dengan nilai *Packing Fraction*.

**Tabel 2.** Nilai  $k_{eff}$  saat terkompaksi kondisi batang kendali *fully up*

FP	$k_{eff}$	$\rho$
85%	$1,05852 \pm 0,001341$	0,055285
87,5%	$1,05887 \pm 0,001091$	0,055597
90%	$1,06237 \pm 0,001329$	0,058708
92,5%	$1,06373 \pm 0,001180$	0,059912
95%	$1,06674 \pm 0,001357$	0,062564

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai  $k_{eff}$  semakin besar ketika FP makin besar, dari 1,05852 sampai 1,06674. Nilai ini menunjukkan bahwa semakin banyak neutron yang dihasilkan pada generasi berikutnya. Hal ini dapat dijelaskan dengan pemikiran bahwa ruang kosong diantara pebble dalam teras makin sedikit. Biasanya ruang kosong ini diisi gas helium berperan sebagai pendingin, semakin berkurang kemampuannya dalam mendinginkan reaktor dibandingkan dengan kondisi yang tidak terkompaksi. Interaksi antara uranium dan neutron menjadi semakin bertambah, sehingga jumlah neutron yang dihasilkan akibat reaksi pembelahan inti Uranium juga semakin banyak. Kondisi ini akan meningkatkan laju reaksi, serta meningkatkan daya reaktor. Semakin besar laju reaksi maka nilai kritikalitasnya juga semakin besar. Kenaikan nilai  $k_{eff}$  dapat dilihat pada Tabel 2. Kenaikan nilai  $k_{eff}$  ini sebanding dengan kenaikan nilai reaktivitas. Semakin besar nilai  $k_{eff}$  maka semakin besar pula nilai reaktivitas.



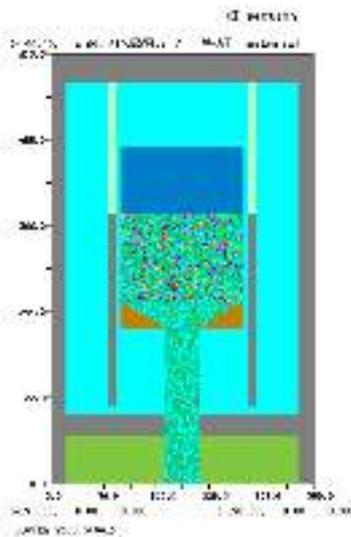
**Gambar 3.** Spektrum Neutron pada Variasi Kompaksi Bahan Bakar batang kendali *fully up*

Salah satu faktor yang mempengaruhi naiknya nilai kritikalitas ini adalah meningkatnya jumlah neutron termal saat terjadi kompaksi bahan bakar. Peningkatan jumlah neutron termal ini ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada warna biru merupakan spektrum neutron pada saat kondisi normal, sedangkan warna merah merupakan kondisi ketika HTR-10 terkompaksi maksimum, yaitu 95%. Pada energi neutron termal yaitu sekitar 0,025 eV terjadi kenaikan jumlah neutron termal. Neutron termal ini mempunyai probabilitas tertinggi untuk terjadinya reaksi fisi. Berdasarkan 6 faktor yang mempengaruhi nilai  $k_{eff}$ , yang berpengaruh pada kondisi ini adalah faktor kemungkinan ketidakbocoran neutron

termal serta faktor pemakaian neutron termal. Karena produksi neutron yang meningkat, maka semakin banyak pula neutron yang terpakai untuk reaksi fisi selanjutnya. Kondisi ini akan meningkatkan laju reaksi. Semakin besar laju reaksi maka nilai kritikalitasnya juga semakin besar. Kenaikan nilai  $k_{eff}$  pada variasi kompaksi bahan bakar tidak terlalu signifikan.

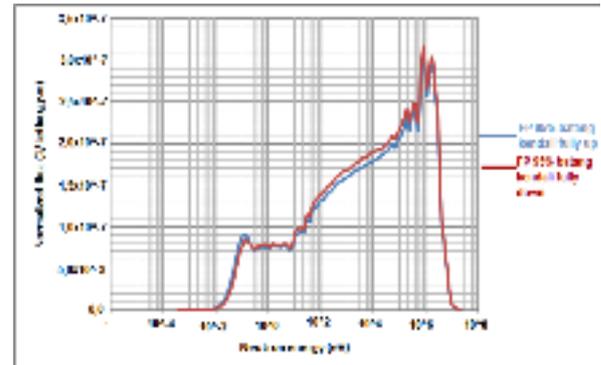
Reaktor berada dalam keadaan superkritis dengan kenaikan nilai  $k_{eff}$  dari 1,05852 hingga 1,06674. Reaktivitas umpan balik HTR-10 bernilai positif dengan kenaikan nilai reaktivitas dari 0,055285 hingga 0,062564 atau sebesar 0,7%.

Karena reaktor berada dalam kondisi superkritis, maka diperlukan mekanisme pengendalian reaktivitas. Keselamatan aktif yang dapat dilakukan adalah menurunkan batang kendali. Batang kendali ini berfungsi untuk mengontrol populasi neutron. Ketika batang kendali masuk sepenuhnya (*fully down*) ditunjukkan oleh gambar 4.



**Gambar 4.** Kompaksi dengan *Packing Fraction* 95% kondisi batang kendali *fully down*

Gambar 5. merupakan spektrum neutron dengan nilai *Packing Fraction* 95%. Warna biru menunjukkan batang kendali pada kondisi *fully up*, sedangkan warna merah menunjukkan batang kendali pada keadaan *fully down*. Pada grafik yang berwarna merah terjadi pergeseran spektrum ke arah kanan di daerah neutron termal. Pergeseran ini menunjukkan bahwa spektrum bergeser pada keadaan yang semakin tidak termal dibandingkan dengan kondisi ketika batang kendali *fully up*. Selain itu, jumlah populasi neutron pada garis yang berwarna merah juga mengalami penurunan. Penurunan jumlah populasi neutron inilah yang mempengaruhi nilai reaktivitas. Penurunan jumlah neutron ini dikarenakan ketika batang kendali dimasukkan, maka sebagian neutron akan diserap oleh material batang kendali yang komponen utamanya adalah boron.



**Gambar 5.** Spektrum neutron FP 95% pada keadaan batang kendali *fully up* dan *fully down*

Saat reaktor berada dalam keadaan batang kendali *fully down* nilai kritikalitasnya turun dan berada dalam kondisi subkritis. Sistem keselamatan aktif dengan menggunakan batang kendali telah mampu mengontrol reaktivitas dan membuat reaktor berada dalam kondisi subkritis. Tabel 3. Menunjukkan SDM dari kompaksi bahan bakar bernilai diatas 0,5 % dk/k yang merupakan batas minimum untuk menuju sistem pemadaman reaktor.

**Tabel 3.** Nilai  $k_{eff}$  saat terkompaksi kondisi batang kendali *fully down*

FP (%)	$k_{eff}$	SDM (% dk/k)	Kategori keamanan
85	0,925064 ± 0,00152	6,13	Memenuhi
87,5	0,932789 ± 0,00141	5,55	Memenuhi
90	0,939367 ± 0,00133	5,01	Memenuhi
92,5	0,949346 ± 0,00127	4,22	Memenuhi
95	0,953551 ± 0,00128	3,86	Memenuhi

#### IV. KESIMPULAN

Pada variasi kompaksi bahan bakar, semakin teras reaktor terkompaksi, maka nilai kritikalitas semakin mengalami kenaikan. Reaktor berada dalam keadaan superkritis dengan kenaikan nilai  $k_{eff}$  dari 1,05852 hingga 1,06674. Terjadi kenaikan nilai reaktivitas dari 0,055285 hingga 0,062564 atau sebesar 0,7%. Penurunan batang kendali menurunkan nilai  $k_{eff}$ . Nilai  $k_{eff}$  keadaan *fully up* dan *fully down* digunakan untuk menghitung SDM. Nilai SDM berada diatas 0,5 % dk/k sehingga reaktor aman menuju proses pemadaman apabila terjadi kecelakaan kompaksi bahan bakar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aziz, F., dkk. Design Study of Modular Lead-Bismuth Cooled Fast Reactors with Nitride Fuel, Kontribusi Fisika Indonesia Vol. 13 No.4, Oktober 2002.
- [2] Verkerk, E.C. Dynamics of the pebble bed nuclear reactor in the direct brayton cycle; Ph.D. Thesis. Delft University of Technology; 2000.
- [3] Jing et al., (2002). Prediction Calculations and Experiments for the First Criticality of the 10 MW High Temperature Gas-cooled Reactor Test

- Module. Nuclear Engineering and Design, 218, pp. 43-49
- [4] ----, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional Nomor 3 pasal 8 dan 16 tahun 2011, tentang Ketentuan Keselamatan Reaktor Daya, Jakarta.
- [5] Doe. (1993). Nuclear Physics and Reaktor Theory. Amerika: U. S. Departement of Energy.
- [6] Sutondo, T., & Yulianti, N. (2006). Analisis Batas Reaktivitas Sampel Eksperimen pada Reaktor Kartini. Prosiding PPI – PDIPTN Pustek Akselerator dan Prose Bahan, Juli, 380-385.
- [7] JAERI. (2005). MVP/GMVP II : General Purpose Monte Carlo Codes for Neutrons and Photon Transport Calculations based on Continious Energy and Multigroup Methods. Tokyo: Japan Atomic Energy Reseach Institute.
- [8] Terry, W. (2006). Evaluation of the HTR - 10 Reaktor as a Benchmark for Physics Code QA. Idaho National Library.



## ANALISIS KONSENTRASI UDARA AKIBAT KECELAKAAN REAKTOR KARTINI DITINJAU DARI VARIASI BAHAN BAKAR YANG MELELEH DENGAN SOFTWARE PC-COSYMA

Hanifah Nur Syafitri<sup>1</sup>, Suharyana<sup>1</sup>, Diah Hidayanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Program Studi Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>) Badan Pengawas Tenaga Nuklir

[hanursya@yahoo.com](mailto:hanursya@yahoo.com)

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian simulasi kecelakaan reaktor Kartini dengan *software* PC-COSYMA. Reaktor Kartini merupakan reaktor riset yang didesain dengan daya maksimal 250 kW. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang terjadi akibat kecelakaan reaktor. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasi elemen bakar yang meleleh sebanyak 5 variasi yaitu 6, 16, 34, 57, dan 69 elemen bakar. Terdapat tiga tahapan pada penelitian ini yaitu menghitung komposisi bahan bakar tiap variasi elemen, mencari nilai aktivitas radionuklida dengan *Software* ORIGEN, dan melakukan simulasi dengan PC-COSYMA. Pada *software* ORIGEN, diperlukan data *input* yang berupa waktu operasi reaktor selama 897 hari dalam waktu 10 tahun, jumlah total seluruh bahan bakar yang berisi 69 elemen bakar, daya yang digunakan 250 kW dan massa tiap variasi elemen bakar yang meleleh. Setelah didapatkan data berupa nilai aktivitas radionuklida dari ORIGEN lalu dilakukan simulasi kecelakaan reaktor dengan PC-COSYMA. Dengan mode deterministik, *input* PC-COSYMA menggunakan data berupa kecepatan udara 5,28 m/s, kategori stabilitas atmosfer berada pada keadaan sangat tidak stabil, arah angin sebesar 135°, jarak 60 km, dan densitas penduduk 2570 jiwa/km<sup>2</sup>. Hasil simulasi menunjukkan nilai konsentrasi <sup>137</sup>Cs dan <sup>90</sup>Sr yang semakin meningkat ketika variasi elemen bakar yang meleleh semakin banyak. Selain itu, semakin jauh jaraknya dari pusat kecelakaan reaktor nilai konsentrasinya semakin kecil. Hal ini dipengaruhi oleh faktor meteorologi berupa gerak angin. Angin bergerak dari tempat kecelakaan reaktor membawa konsentrasi radioaktif yang tinggi. Muatan tersebut tersebar seiring dengan pergerakan angin. Angin bergerak dari tenggara menuju barat laut sehingga daerah kaya konsentrasi radioaktif berada di barat laut. Nilai konsentrasi <sup>137</sup>Cs dan <sup>90</sup>Sr tertinggi ditunjukkan nuklida pada variasi 69 elemen bakar yang meleleh di sektor 15 pada jarak 5 km yaitu 177,97 Bq/m<sup>3</sup> dan 172,53 Bq/m<sup>3</sup>. Nilai ini melebihi batas yang diijinkan PERKA BAPETEN.

**Kata kunci:** aktivitas, konsentrasi udara, deterministik, dampak radiologi

### ABSTRACT

Research about accident nuclear of Kartini reactor has been done by used *software* PC-COSYMA. Kartini's reactor is a research reactor with a maximum power of 250 kW. The research has been done by varying melted fuel elements namely 6, 16, 34, 57, and 69 fuel elements. There are three steps in this research, calculated activities value of radionuclide using ORIGEN, and simulation using PCCOSYMA. ORIGEN requires data input such as the operation time of reactor 897 day in 10 years, the total fuel element that 69 fuel elements, power that used 250 kW and the mass each variation of melted fuel element. At deterministic mode, the input data required are wind speed 5,28 m/s, stability atmosphere category its assumed on extremely unstable, wind direction 135°, the distance is up to 60 km, and the population density is 2570 person/km<sup>2</sup>. The results of simulation showed the value of air concentration <sup>137</sup>Cs dan <sup>90</sup>Sr increased when the variation of fuel element is increased. Besides that, the distance that more far from the placed reactor accident its makes the concentration is lower than. That influenced by the meteorology factor such as wind. When wind moved from the nuclear accidents place its carried high radioactive concentration. The concentration then fall out as long as wind moving. The wind move from south-east to north-west so the place that have much concentration in north-west. The highest concentration value of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr showed in 69 melted fuel element at sector 15 on distance 5 km its 177,97 Bq/m<sup>3</sup> and 172,53 Bq/m<sup>3</sup>, highest that permitted by BAPETEN.

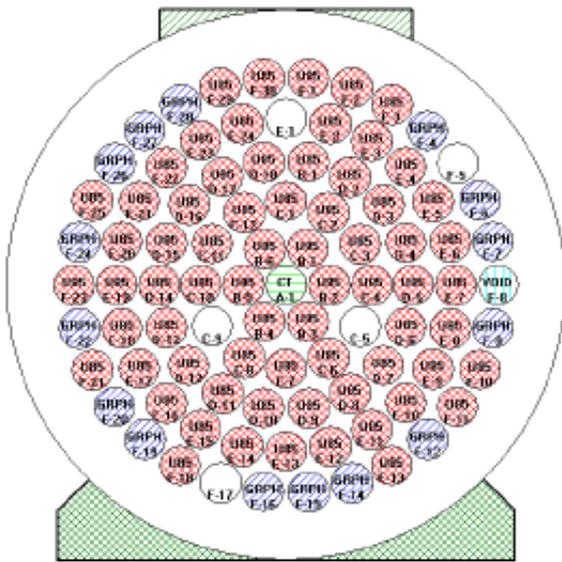
**Keywords:** Activities, air concentration, deterministic, radiological impact

### I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki tiga reaktor nuklir yaitu di Serpong, Bandung dan Yogyakarta. Reaktor yang berada di Yogyakarta dinamakan reaktor Kartini. Reaktor ini adalah jenis reaktor TRIGA (*Training, Research, and Isotope production from General Atomic*)

yang didesain dengan daya maksimal 250 kW. Reaktor Kartini memiliki teras reaktor yang tersusun 69 bahan bakar. Konfigurasi bahan bakar pada teras reaktor dapat dilihat pada Gambar 1. Komposisi bahan bakar reaktor Kartini adalah U-ZrH dengan kandungan

uranium 8,5% dengan pengkayaan 20%. Rasio banyaknya Zr dan H adalah 1,65<sup>[1]</sup>.



**Gambar 1.** Konfigurasi teras reaktor Kartini.

Unsur  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  merupakan unsur hasil fisi. Kedua unsur tersebut apabila terlepas ke udara dan berinteraksi dengan materi lain dapat membahayakan tubuh. Karakteristik Cesium mudah bereaksi dengan air menghasilkan cesium hidroksida yang berbahaya untuk tubuh.  $^{137}\text{Cs}$  memiliki waktu paruh 30 tahun sedangkan  $^{90}\text{Sr}$  memiliki waktu paruh 27 tahun. Keduanya dapat menyebabkan kanker. Radioaktif ini pancaran radiasinya berupa radiasi beta dan gamma<sup>[8]</sup>. Radiasi ini ketika masuk kedalam tubuh dapat mengionisasi sel tubuh sehingga menimbulkan dampak radiologi. Dampak radiologis yang diakibatkan tersebut berupa dampak dalam jangka panjang maupun dalam jangka pendek.

PC-COSYMA (*Code System of Methods for Assessing Radiological Impact of Accident*) adalah paket program untuk estimasi dan kajian terhadap dampak dari lepasan zat radioaktif ke lingkungan akibat terjadi kecelakaan di fasilitas nuklir<sup>[2]</sup>. Program ini dapat melakukan perhitungan secara deterministik dan probabilitistik. Perbedaan keduanya adalah perhitungan deterministik dengan PC-COSYMA bekerja dengan tidak mempertimbangkan ketidakpastian, keadaan atmosfer sedangkan perhitungan probabilitistik PC-COSYMA adalah memprediksi seteiap ketidakpastian perubahan atmosfer termasuk perubahan dari kondisi selama terbentuknya awan radioaktif<sup>[3]</sup>.

PC-COSYMA memerlukan input koefisien dispersi yang berasal dari nilai meteorologi seperti arah angin, kecepatan angin, suhu, stabilitas atmosfer dan data topografi permukaan dataran. Perhitungan koefisien dispersi ini berguna untuk menentukan nilai konsentrasi<sup>[4]</sup>. Selain itu untuk menghitung konsentrasi memerlukan data inventori pada input *source term*. Pada penelitian ini menggunakan paket ORIGEN.

ORIGEN merupakan kode komputer peluruhan radioaktif yang dikembangkan di Oak Ridge National

Laboratory (ORNL). ORIGEN berguna untuk menghitung karakteristik beberapa material nuklir seperti *burn up*, peluruhan dan proses material radioaktif.<sup>[5]</sup> ORIGEN merupakan paket program yang digunakan untuk menghitung aktivitas radionuklida yang terbentuk di dalam elemen bahan bakar. Input data untuk ORIGEN berupa daya reaktor, lama operasi reaktor, jumlah elemen bahan bakar yang meleleh. Program ini biasa digunakan untuk berdampingan dengan program simulasi lain karena output ORIGEN berupa data inventori radionuklida<sup>[6]</sup>. Prinsip penggunaan ORIGEN adalah dengan menghitung komposisi radionuklida dan unsur material lain yang berhubungan. Kebanyakan material yang dikarakterisasi berupa penggunaan bahan bakar, limbah radioaktif, aliran gas, dan akhir penggunaan uranium. Ada tiga bagian nuklida pada pustaka ORIGEN yaitu 130 aktinida, 850 produk fisi dan 720 produk aktivasi. Ketiga bagian ini memiliki tiga pustaka yang berbeda seperti data pustaka peluruhan radioaktif, data pustaka tampak lintang dan hasil produk fisi, dan data pustaka foton.<sup>[5]</sup>

Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui dampak apabila terjadi kecelakaan reaktor Kartini. Radioaktif yang tersebar akibat kecelakaan reaktor ini dapat membahayakan tubuh apabila masuk ke dalam tubuh. Hal ini dapat terjadi karena apabila radiasi telah masuk ke dalam tubuh akan berinteraksi dengan sel tubuh dapat menyebabkan efek radiologis baik untuk jangka panjang maupun jangka pendek. Salah satu contoh dampak radiologis tersebut adalah penyakit kanker. Penelitian ini menggunakan 5 variasi elemen bakar dari ring pertama 6 elemen bakar hingga semua bahan bakar meleleh sehingga dapat dilihat konsentrasi yang tersebar berdasarkan jumlah bahan bakar yang meleleh.

Pada PERKA BAPETEN nomor 7 tahun 2013 tentang batas nilai radioaktif di lingkungan menyatakan nilai untuk  $^{137}\text{Cs}$  sebesar  $1,3 \times 10^1 \text{ Bq/m}^3$  dan untuk  $^{90}\text{Sr}$  sebesar  $3,9 \times 10^1 \text{ Bq/m}^3$ .

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### ORIGEN

Perangkat lunak digunakan untuk menentukan nilai aktivitas radionuklida dari hasil reaksi fisi Reaktor Kartini. Perangkat ini dimulai dengan membuat input dalam *notepad*. Program ini digunakan untuk mendapatkan nilai aktivitas radionuklida dari hasil fisi maka diperlukan perintah untuk melakukan proses iradiasi.

Adapun data yang diperlukan untuk pembuatan *input* ini berupa waktu operasi reaktor, daya operasi reaktor, jumlah total elemen bahan bakar dalam teras reaktor Kartini, dan massa tiap variasi elemen bakar yang meleleh. Waktu operasi reaktor diasumsikan pada hari kerja dalam 10 tahun yaitu 897 hari. Daya yang digunakan adalah daya maksimum 250 kW. Total elemen bahan bakar yang digunakan sebanyak 69 elemen bakar. Massa dari masing-masing variasi ini dihitung secara manual sebelum menggunakan *software*.

Setelah pembuatan *input* lalu dilakukan *running*. Hasil output ORIGEN yaitu nilai aktivitas

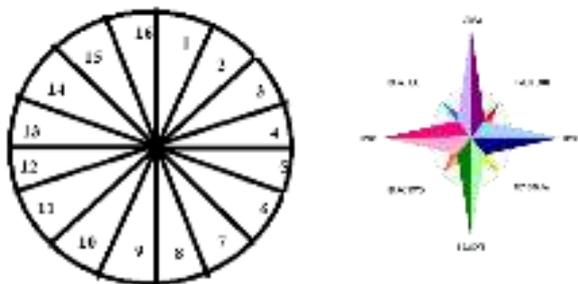
radionuklida digunakan sebagai input perangkat lunak PC-COSYMA sebagai data inventori. Nilai aktivitas radionuklida yang dihasilkan ORIGEN memiliki satuan Curie sedangkan pada PC-COSYMA yang digunakan satuan Bq sehingga perlu dilakukan konversi dengan mengalikan nilai tersebut dengan  $3,7 \times 10^{10}$ .

### PC-COSYMA

Setelah didapatkan nilai aktivitas radionuklida dari masing-masing elemen bakar yang meleleh lalu dilakukan proses simulasi kecelakaan reaktor dengan PC-COSYMA. Simulasi ini menggunakan beberapa tahapan yaitu pembuatan *input interface*, proses *running* dan tampilan hasil.

Pembuatan *input interface* memerlukan beberapa data meteorologi seperti kecepatan angin, arah angin, stabilitas atmosfer, struktur permukaan dataran, radionuklida yang dianalisis, jarak, data densitas penduduk. Dari data meteorologi didapatkan kecepatan angin 5,28 m/s, arah angin berasal dari tenggara menuju barat laut dinyatakan dalam  $135^\circ$ , stabilitas atmosfer dikategorikan pada kondisi sangat tidak stabil dengan nilai *mixing depth layer* 1600 m. Nilai stabilitas ini didasarkan pada kategori Pasquill-Gillford. Permukaan tanah diasumsikan permukaan kasar. Jarak yang digunakan pada penelitian ini sejauh 60 km dari pusat kecelakaan reaktor. Beberapa kota yang termasuk pada radius ini adalah Magelang, Yogyakarta, Klaten, Surakarta, Boyolali, Sukoharjo dan Purworejo, daerah-daerah ini memiliki kepadatan penduduk rata-rata 2570 jiwa/km<sup>2</sup>. Penelitian ini terbagi atas 16 sektor. Pembagian sektor dapat dilihat pada gambar 2. Radionuklida yang dianalisis pada penelitian ini adalah <sup>137</sup>Cs dan <sup>90</sup>Sr.

Setelah data-data tersebut dimasukkan pada *software*, proses selanjutnya adalah *running*. Perhitungan dilakukan dengan metode dispersi atmosfer. Model ini umum dipakai untuk menghitung banyaknya konsentrasi gas atau radionuklida yang sampai ke permukaan bumi. Hasil *running* PC-COSYMA berupa nilai konsentrasi radionuklida <sup>137</sup>Cs dan <sup>90</sup>Sr yang disajikan dalam tabel dan grafik dalam satuan Bq s/m<sup>3</sup>.



Gambar 2. Pembagian sektor. Gambar 3. Arah angin.

## I. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan Massa Bahan Bakar UZrH

Perhitungan untuk setiap massa dari bahan bakar UZrH dilakukan sebelum menjalankan *software* ORIGEN. Perhitungan massa ini digunakan sebagai salah satu input pada ORIGEN yaitu pada komposisi bahan bakar.

Hasil perhitungan massa untuk setiap variasi elemen bahan bakar yang meleleh dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Massa tiap Variasi Elemen Bakar Reaktor Kartini

Jumlah elemen bakar	massa <sup>235</sup> U (gram)	massa <sup>238</sup> U (gram)	massa Zr (gram)	massa H (gram)
6	228	912	12.190,05	81,19
16	608	2.432	32.506,80	216,50
34	1.292	5.168	69.076,96	460,07
57	2.166	8.664	115.805,49	771,30
69	2.622	10.488	140.185,59	933,68

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan elemen bakar maka massa untuk masing-masing elemen bahan bakar semakin besar baik pada uranium-235, uranium-238, zirkonium dan hidrida. Hal ini dikarenakan jumlah elemen bakar ketika ditambahkan semakin banyak. Hal ini akan mempengaruhi konsentrasi radionuklida yang tersebar.

### Hasil Perhitungan ORIGEN

Pada ORIGEN proses yang terjadi adalah *software* melakukan iradiasi dengan waktu operasi reaktor yang telah ditentukan dan setelah dilakukan iradiasi komposisi material dianalisis dari kondisi material bahan bakar masih baru hingga setelah melakukan iradiasi. Hasil dari output ORIGEN berupa nilai aktivitas radionuklida Nilai tersebut dalam satuan Curie dan data konsentrasi dalam gram. Data output perhitungan ORIGEN tersebut menampilkan semua radionuklida hasil reaksi fisi yang terjadi. Dari data yang telah didapat, dipilih radionuklida yang akan digunakan sebagai input PC-COSYMA. Setelah dilakukan seleksi didapatkan nilai aktivitas sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai Aktivitas (Ci)

Nuklida	Nilai Aktivitas (Ci)				
	6	16	34	57	69
<sup>137</sup> Cs	6,14 $\times 10^1$	1,64 $\times 10^2$	3,48 $\times 10^2$	5,84 $\times 10^2$	7,05 $\times 10^2$
<sup>90</sup> Sr	5,96 $\times 10^1$	1,59 $\times 10^2$	3,37 $\times 10^2$	5,66 $\times 10^2$	6,83 $\times 10^2$

Hasil diatas menunjukkan nilai aktivitas dari suatu nuklida yang semakin besar dari 6 elemen bakar yang meleleh sampai 69 elemen bakar yang meleleh. Hal ini dipengaruhi jumlah bahan bakar yang meleleh semakin banyak massa di dalamnya maka semakin tinggi pula nilai aktivitas. Dalam satu elemen bahan bakar yang meleleh mengandung komposisi material elemen bahan bakar yaitu massa uranium-235, uranium-238, zirkonium dan unsur hidrida. Sehingga, apabila komposisi kandungan elemen bahan bakar pada elemen bakar semakin banyak maka aktivitasnya semakin tinggi sehingga nilai aktivitas radioaktif tiap kenaikan

elemen bakar yang meleleh juga yang dihasilkan semakin tinggi. Nilai ini akan berpengaruh terhadap konsentrasi nuklida di udara.

### Perhitungan PC-COSYMA

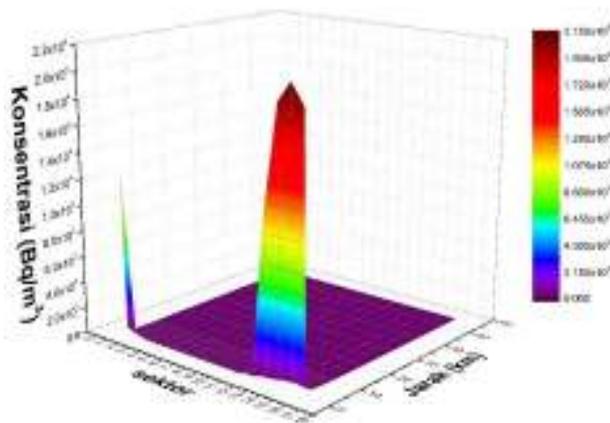
Selain menggunakan ORIGEN, untuk mendapatkan nilai konsentrasi radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  di udara maka diperlukan juga *software* PC-COSYMA. *Software* ini digunakan untuk mensimulasikan kecelakaan reaktor, menghitung konsentrasi nuklida hasil fisi yang tersebar dalam jarak tertentu. Pada *software* ini dilakukan menggunakan jarak 60 km. Pengambilan jarak 60 km berdasarkan asumsi letak reaktor Kartini terhadap UNS. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil konsentrasi terbanyak pada sektor 15 sebagai berikut:

**Tabel 3** Nilai Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) di Udara

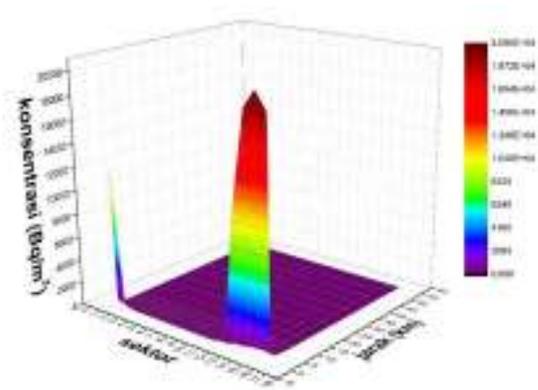
Jarak (km)	6	16	34	57	69
5	15,48	41,25	87,97	147,31	177,97
15	6,40	17,06	36,36	60,89	73,58
25	4,14	11,03	23,51	39,36	47,56
35	2,94	7,82	16,68	27,94	33,75
45	2,58	6,87	14,64	24,51	29,61
55	2,02	5,38	11,47	19,20	23,21

**Tabel 4.** Nilai Konsentrasi  $^{90}\text{Sr}$  ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ ) di Udara

Jarak (km)	6	16	34	57	69
5	15,00	40,03	85,25	142,53	172,53
15	6,20	16,55	35,25	58,92	71,33
25	4,01	10,69	22,78	38,08	46,11
35	2,84	7,59	16,16	27,03	32,72
45	2,50	6,66	14,19	23,72	28,72
55	1,96	5,22	11,11	18,58	22,49



**Gambar 3.** Grafik Distribusi Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  sebagai Fungsi dari Sektor dan Jarak



**Gambar 4.** Grafik Distribusi Konsentrasi  $^{90}\text{Sr}$  sebagai Fungsi dari Sektor dan Jarak

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 di atas menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah elemen bakar yang meleleh memiliki nilai konsentrasi di udara semakin banyak. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa dari tiap variasi elemen bakar yang semakin banyak. Apabila ditinjau dari hubungan jarak terhadap nilai konsentrasi dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jaraknya maka semakin sedikit konsentrasi yang tersebar. Begitu juga sebaliknya yaitu semakin dekat jaraknya maka semakin banyak konsentrasi radioaktif tersebut tersebar. Konsentrasi terbanyak terdapat pada daerah barat laut yaitu pada sektor 15. Hal ini dikarenakan angin bergerak dari tenggara menuju barat laut. Dari hasil dapat dilihat bahwa konsentrasi yang nilainya tinggi terletak pada daerah yang berada didekat reaktor.

Hal ini dikarenakan pengaruh angin. Ketika angin bergerak dari pusat reaktor dengan membawa muatan radioaktif, radioaktif yang dibawa angin tersebut ikut jatuh berdasarkan arah gerak angin. Ketika daerah yang dilalui angin tersebut berada didekat pusat kecelakaan reaktor maka konsentrasi yang dijatuhkan masih banyak, namun ketika mulai bergerak semakin jauh maka konsentrasi angin yang dijatuhkan akan semakin sedikit. Hal ini sesuai dengan teori jatuhnya radioaktif yaitu jatuhnya lokal dimana daerah terdekat dengan reaktor memiliki konsentrasi radioaktif di udara paling banyak.

Pada  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  pada jarak 60 km,  $^{137}\text{Cs}$  memiliki konsentrasi yang tersebar paling banyak dibandingkan  $^{90}\text{Sr}$ .  $^{137}\text{Cs}$  yang memiliki waktu paruh sekitar 30,07 tahun dan  $^{90}\text{Sr}$  yang memiliki waktu paruh 27 tahun. Ketika nuklida tersebut masuk melalui tubuh pancaran radiasi akan berinteraksi dengan sel dalam tubuh sehingga akan memberikan dampak radiologis dalam tubuh baik jangka panjang maupun jangka pendek.

Menurut PERKA BAPETEN nomor 7 tahun 2013 tentang batas nilai radioaktif di lingkungan nilai konsentrasi yang tersebar untuk  $^{137}\text{Cs}$  sebesar  $1,3 \times 10^1 \text{ Bq}/\text{m}^3$  dan untuk  $^{90}\text{Sr}$  sebesar  $3,9 \times 10^1 \text{ Bq}/\text{m}^3$ . Hasil simulasi untuk  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{90}\text{Sr}$  menunjukkan bahwa keduanya melebihi batas yang diijinkan. Pada unsur  $^{137}\text{Cs}$  pada jarak 55 km nilai konsentrasinya melebihi batas. Sedangkan pada unsur  $^{90}\text{Sr}$  pada jarak setelah 30 km jaraknya aman. Karena melebihi batas tersebut maka perlu dilakukan tindakan lebih lanjut.

## II. KESIMPULAN

Setelah dilakukan simulasi kecelakaan Reaktor Kartini yang dioperasikan pada daya maksimal 250 kW pada jarak sampai 60 km dan variasi jumlah elemen bakar yang meleleh yaitu 6, 16, 34, 57, dan 69 elemen bakar didapatkan hasil nilai konsentrasi radionuklida yang tersebar diudara. Sebaran terbanyak terdapat pada sektor 15. Hasil dari simulasi bahwa konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  yang paling banyak menyebar daripada  $^{90}\text{Sr}$ . Hasil konsentrasi pada 69 elemen bakar yang meleleh menunjukkan bahwa nilainya melebihi batas yang diijinkan oleh PERKA BAPETEN.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada BAPETEN yang telah mengijinkan penulis untuk menggunakan *software* PC-COSYMA dan ORIGEN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rohman, B. (2008). Analisis Laju Alir Pendingin Di Teras Reaktor Kartini. Prosiding Seminar Nasional ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Bandung, 5 Nopember 2008.
- [2] Villa, M., Haydn M., Steinhauser, G., dan Bock, H. (2015) Accident scenarios of the TRIGA MARK II reactor in Vienna. *Journal Nuclear and Design*, 240 (2010) 4091-4095.
- [3] Udiyani, P.M., dan Kuntjoro, S. (2015). Pengaruh Kondisi Atmosferik Terhadap Perhitungan Obabilistik Dampak Radiologi Kecelakaan PWR 1000-MW. *Jurnal Teknik Reaktor Nuklir.*, ISSN 1411-240X No: 632/AU3/P2MI-LIPI/03/2015 Vol. 17 No.3 Oktober 2015, Hal. 149-158.
- [4] Zhao Y., Zhang L., dan Tong J. (2015). Development of rapid atmospheric source term estimation system for AP1000 nuclear power plant. *Progress in Nuclear Energy* 81: 264-275.
- [5] Hadad, K. Nematollahi, M., dan Golestani A. (2015). VVER-1000 cross-section library generation for ORIGEN-II based on MCNP calculations. *International journal of hydrogen energy*
- [6] Trijono, E., Sardjono, Y., Purwanto, P., dan Setiawan, W. (2000). Perancangan Sistem Informasi Pengelolaan elemen bahan bakar reaktor kartini. Prosiding Pertemuan dan Presentasi ilmiah P3TM-BATAN, ISSN 0216-3128
- [7] IAEA. (2011). Nuclear Data for Safeguards. Table C-3. Cumulative Fission Yields. Thermal neutron fission. 5 Maret 2011
- [8] Tolgyessy, T., dan Bujdoso, E. (1993). CRC Handbook of Radioanalytical Chemistry Volume I, CRC Press Boca Raton



## PERHITUNGAN DETERMINISTIK DAMPAK RADIOLOGI KECELAKAAN REAKTOR KARTINI TERHADAP KONSENTRASI RADIONUKLIDA DI TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE PC-COSYMA

Desintha Fachrunnisa<sup>1</sup>, Diah Hidayanti<sup>2</sup>, Suharyana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>2</sup>Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.

[desinthaasintaa@gmail.com](mailto:desinthaasintaa@gmail.com)

### ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi tentang analisis dampak kecelakaan reaktor Kartini terhadap distribusi radionuklida <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs menggunakan *software* PC-COSYMA yang bertujuan untuk mengetahui nilai konsentrasi radionuklida yang terdeposisi ke tanah. Metode simulasi yaitu menggunakan metode perhitungan deterministik. Metode ini hanya memperhatikan satu nilai tunggal untuk setiap parameter. Tahap pertama dilakukan simulasi yaitu menghitung nilai aktivitas radionuklida hasil fisi menggunakan program ORIGEN2, yang kemudian dijadikan data inventori pada *software* PC-COSYMA. Diasumsikan kecelakaan reaktor terjadi di bulan Juni pada musim kemarau, pada kondisi ini angin bergerak cenderung dari arah Tenggara dengan kecepatan angin sebesar 5,28 m/s. Kondisi stabilitas atmosfer di sekitar reaktor diasumsikan pada kategori ekstrem, dikarenakan wilayah Yogyakarta sering mengalami bencana alam seperti gempa bumi. Penelitian dilakukan pada dua kondisi yaitu saat 6 buah elemen bahan bakar meleleh dan 16 elemen bahan bakar meleleh. Wilayah penelitian dibagi menjadi 16 sektor dan daerah terdampak paling besar berada pada sektor 15. Pada simulasi ini didapatkan nilai konsentrasi yang terdeposisi ke tanah untuk nuklida <sup>90</sup>Sr saat kondisi 6 dan 16 elemen bahan bakar yang meleleh yaitu  $8,33 \times 10^4$  Bq/m<sup>3</sup> dan  $2,22 \times 10^5$  Bq/m<sup>3</sup>, sedangkan untuk nuklida <sup>137</sup>Cs saat kondisi 6 dan 16 elemen bahan bakar yang meleleh sebesar  $8,59 \times 10^4$  Bq/m<sup>3</sup> dan  $2,29 \times 10^5$  Bq/m<sup>3</sup>. Jika dibandingkan dengan Perka Bapeten Nomor 7 tahun 2013 Tentang Nilai Batas Dosis Lingkungan bahwa nilai konsentrasi di tanah pada jarak terdekat dari pusat kecelakaan di sektor 15 melebihi batas aman untuk masing-masing radionuklida.

**Kata Kunci** : Reaktor Kartini, Deterministik, Dampak Radiologi, ORIGEN2, dan PC-Cosyma

### ABSTRACT

*A simulation concerning on the impact analysis of Kartini Reactor accident in terms of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs radionuclide distribution using PC-Cosyma software have been done to determine the value of deposited radionuclide concentration on the ground and effective dose received by the population. The simulation is using deterministic calculation method. This method is only takes one single value for each parameter. The first step of simulation is to calculate the radioactivity value of fission nuclide using program named ORIGEN2, which is used as inventory data in PC-Cosyma software. Reactor accident is assumed occurs in June during the dry season, in this situation the wind blows from Southeast with 5,28 m/s as the wind speed. The condition of atmospheric stability around the reactor is assumed to be an extreme category, since natural disaster such as earthquake is oftenly happened in Yogyakarta. The research was conducted on two conditions when 6 and 16 units of fuel elements melted. The area is divided into 16 sectors and the largest affected areas are in sector 15. In this simulation we get the value of deposition that is deposited to the soil for <sup>90</sup>Sr nuclides when conditions 6 and 16 fuel elements are melted ie  $8.33 \times 10^4$  Bq / m<sup>3</sup> and  $2.22 \times 10^5$  Bq / m<sup>3</sup>, while for nuclides <sup>137</sup>Cs at condition 6 and 16 melt fuel elements of  $8.59 \times 10^4$  Bq / m<sup>3</sup> and  $2.29 \times 10^5$  Bq / m<sup>3</sup>. If the result is compared to " Perka Bapeten Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Dosis Lingkungan" that the concentration value on the soil at the nearest distance from the accident center in sector 15 exceeds the safe limit for each radionuclide.*

**Keywords** : Kartini's Reactor, Deterministic, Radiology Impact, ORIGEN2, and PC-Cosyma

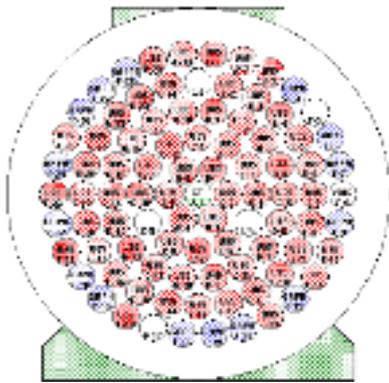
## I. PENDAHULUAN

Nuklir merupakan sumber energi alternatif yang dinilai bersih bagi lingkungan karena tidak berpotensi menyebabkan kenaikan pemanasan global. Apabila teknologi nuklir dioperasikan dengan baik akan mendatangkan kebaikan bagi manusia, sebaliknya jika mengalami gangguan atau kebocoran maka akan mendatangkan musibah yang dapat membahayakan

manusia dan lingkungan sekitar. Pemanfaatan teknologi nuklir untuk peningkatan energi memberikan sumbangan sebesar 17% untuk kebutuhan listrik dunia<sup>[1]</sup>.

Perkembangan teknologi nuklir di dunia terus dikembangkan karena didasarkan oleh kecelakaan reaktor nuklir yang sangat merugikan dunia beberapa puluh tahun yang lalu. Terdapat beberapa kecelakaan

nuklir terbesar yang menjadi sorotan masyarakat dunia, yaitu kecelakaan pada PLTN di Pulau Three Mile Island, kecelakaan PLTN di Chernobyl dan kecelakaan PLTN di Fukushima Jepang. Kecelakaan reaktor terjadi karena penggunaan yang menyalahi prosedur dan melebihi batas waktu operasi reaktor. Kecelakaan reaktor nuklir merupakan salah satu tragedi yang berbahaya. Mengacu pada kecelakaan PLTN di Chernobyl pada tahun 1986. Kecelakaan tersebut terjadi karena kritikalitas teras reaktor yang tidak terkendali dalam waktu yang sangat singkat, sehingga mengalami reaksi fisi berantai tanpa kendali<sup>[4]</sup>. Dilatarbelakangi oleh peristiwa tersebut, oleh karena itu pada penelitian kali ini dibuat simulasi untuk analisis dampak radiologi terhadap konsentrasi radionuklida di tanah akibat terjadinya kecelakaan reaktor dengan menggunakan *software* PC-Cosyma. Penelitian dilakukan dengan memvariasi jumlah elemen bahan bakar pada teras reaktor, seperti gambar dibawah ini :



**Gambar 1:** Konfigurasi teras reaktor Kartini (Rohman, 2009).

Kisi reaktor kartini berbentuk anular yang terdiri atas 91 lubang masing-masing memiliki diameter 3,823 cm. Teras reaktor di isi dengan elemen bahan bakar, batang kendali, tabung iradiasi serta elemen grafit. Teras reaktor memiliki ketinggian 58 cm dan dilingkupi oleh reflektor grafit berbentuk silinder dengan diameter dalam sebesar 45,7 cm. Teras dan reflektor terendam dalam air dengan ketinggian 4,9 m. Dalam konfigurasi ini, teras reaktor Kartini memuat 69 elemen bahan bakar serta 3 buah batang kendali yang terbuat dari serbuk  $B_4C$  di dalam kelongsong aluminium yang menempati posisi C5, C9 dan E1 pada konfigurasi teras reaktor. Komposisi elemen bahan bakar kedua tipe ini sama, yaitu U-ZrH<sub>1,65</sub> dengan kandungan uranium 8.5 % berat dan pengkayaan sebesar 20 %<sup>[2]</sup>.

Reaksi fisi merupakan reaksi pembelahan nuklida berat  $^{235}U$  dengan menyerap suatu neutron sehingga menghasilkan dua sampai tiga inti baru yang lebih ringan, yang kemudian inti – inti atom tersebut menjadi tidak stabil dan memancarkan radioaktif<sup>[3]</sup>. Reaksi fisi yang tidak terkendali akan menyebabkan bahaya seperti meningkatnya suhu atau temperatur pada teras reaktor, yang menyebabkan pendingin gagal berfungsi. Akibatnya bahan bakar pada reaktor meleleh dan menyebabkan kecelakaan nuklir. Kecelakaan nuklir menyebabkan unsur-unsur radioaktif terlepas ke lingkungan. Pada penelitian ini dibuat simulasi tentang

kecelakaan reaktor. Perlunya dilakukan penelitian ini untuk mengetahui besarnya konsentrasi radionuklida ke lingkungan apabila terjadi kecelakaan reaktor dan penanganan pertama yang dilakukan oleh masyarakat apabila kecelakaan terjadi. Sebelum dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* PC-Cosyma, terlebih dahulu dilakukan perhitungan suku sumber yang akan dijadikan data inventori dengan menggunakan program ORIGEN2.

#### Program ORIGEN2

Origen merupakan suatu sistem kode komputer untuk menghitung penambahan, peluruhan dan proses dari suatu material radioaktif. Metode yang digunakan pada *software* ORIGEN2 adalah metode *point depletion* dalam satu kelompok energi neutron dengan pustaka reaksi inti yang dapat dipilih sesuai dengan reaktornya. Masukan (*input*) pada program ORIGEN2 merupakan data rerata flux netron atau daya rerata yang dihasilkan di dalam elemen bahan bakar dan lama nya waktu reaktor beroperasi. Inputan ini akan dibakukan dari file data-base sejarah iradiasi elemen bahan bakar. Nilai *output* yang dihasilkan dari program ORIGEN2 merupakan data radionuklida yang terjadi di dalam elemen bahan bakar yang dikelompokkan dalam kelompok produk aktivasi, produk fisi dan aktinida. Output ini merupakan data-base radionuklida.<sup>[5]</sup>

#### Software PC-Cosyma

PC-Cosyma merupakan suatu paket program untuk estimasi dampak radiologi dari lepasan radioaktif ke lingkungan akibat terjadi kecelakaan nuklir. Program ini dapat digunakan untuk perhitungan deterministik dan probabilistik. Perhitungan secara deterministik merupakan perhitungan dengan cara tidak memperhatikan ketidakpastian, sehingga untuk semua nilai parameter dianggap sama, dan kondisi atmosfer tiap perubahan waktu diabaikan. Sedangkan perhitungan secara probabilistik yaitu dengan memperhatikan setiap kebolehjadian yang terjadi pada setiap perubahan atmosfer tiap waktu<sup>[6]</sup>

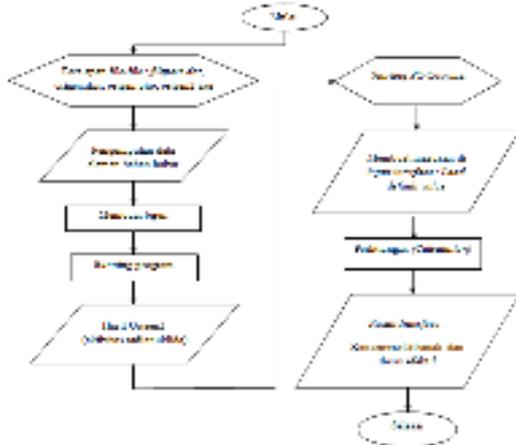
## II. METODE PENELITIAN

Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu dilakukan perhitungan massa elemen bahan bakar secara matematis, yang akan digunakan sebagai *input* program ORIGEN2, kemudian dijadikan data inventoi untuk analisis dampak kecelakaan reaktor menggunakan *software* PC-Cosyma. Untuk membuat *input* pada program ORIGEN2 salah satu nya membutuhkan data elemen bahan bakar. Seperti Tabel 1:

**Tabel 1 :** perhitungan Massa elemen bahan bakar

Jumlah Selongsong	Massa $^{235}U$ (gram)	Massa $^{238}U$ (gram)	Massa Zr (gram)	Massa H (gram)
6	228	912	12190,05	81,19
16	608	2432	32506,80	216,50

Pada penelitian ini diasumsikan bahwa reaktor kecelakaan pada kondisi elemen bahan bakar yang meleleh sebanyak 6 dan 16 buah. Kemudian dilakukan simulasi, seperti dibawah ini :



**Gambar 2 :** Penelitian Analisis Sebaran Dampak Radionuklida Menggunakan Software ORIGEN2 dan PC-Cosyma

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini dibuat simulasi untuk menganalisis sebaran dampak radiologi kecelakaan reaktor Kartini Yogyakarta terhadap konsentrasi radionuklida di dalam tanah setelah terpapar radiasi menggunakan software PC-Cosyma. Penelitian dilakukan dengan dengan 2 buah variasi elemen bahan bakar yang meleleh, yaitu sebanyak 6 buah pada posisi Ring B, dan 16 buah pada posisi Ring B dan C meleleh, seperti terlihat pada gambar 1. Sebelum dilakukan simulasi menggunakan software PC-Cosyma, terlebih dahulu melakukan perhitungan untuk mengetahui suku sumber atau data inventori berupa nilai konsentrasi dalam satuan unit gram dan aktivitas radionuklida dalam satuan unit curie menggunakan program ORIGEN2 didapatkan hasil seperti Tabel 2 :

**Tabel 2 :** Nilai aktivitas radionuklida dalam satuan Becquerel (Bq)

Nuklida	Jumlah Selongsong	
	6	16
<sup>90</sup> Sr	$2,204 \times 10^{12}$	$5,868 \times 10^{12}$
<sup>137</sup> Cs	$2,273 \times 10^{12}$	$6,053 \times 10^{12}$

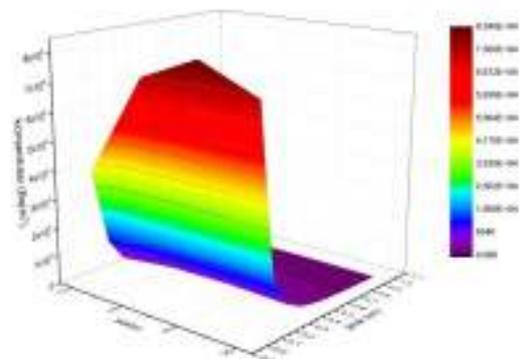
Tahap awal dilakukan simulasi yaitu mempersiapkan data data awal seperti data meteorologi, keadaan atmosfer, data inventori hasil dari program ORIGEN2. Setelah semua terkumpul, dibuat simulasi dengan asumsi kecelakaan reaktor terjadi pada bulan Juni 2017, dengan kestabilan atmosfer di sekitar reaktor Kartini sangat ekstrim sehingga menurut Pasquill untuk kondisi seperti itu bernilai A atau 1. Kecepatan dan arah angin diambil dari BMKG pada rata – rata bulan Juni 2017 sehingga masing-masing bernilai 5,28 m/s dan arah angin sebesar 135° (angin bergerak dari Tenggara ke barat laut). Berdasarkan hasil running PC-Cosyma, radionuklida yang menjadi fokus pembahasan yaitu

<sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs, dikarenakan efek yang ditimbulkan oleh kedua nuklida tersebut sangat berbahaya untuk lingkungan dan kesehatan. Penelitian ini dibuat simulasi kecelakaan reaktor sebanyak 6 dan 16 buah elemen bahan bakar meleleh pada teras reaktor. kemudian dibuat input PC-Cosyma pada main menu Input Interface, setelah selesai dibuat input selanjutnya klik Calculating dan hasil akan terbaca di result interface berupa nilai konsentrasi di tanah. Penelitian dibagi menjadi 16 sektor untuk melihat wilayah terdampak akibat kecelakaan reaktor. Daerah paling terdampak yaitu pada sektor 15, dikarenakan angin bergerak dari Tenggara menuju Barat Laut, seperti Gambar 3 :

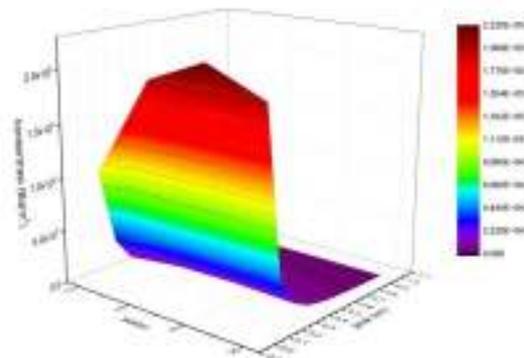


**Gambar 3 :** Pembagian sektor daerah terdampak

Konsentrasi radionuklida terbesar terletak pada sektor 15, sedangkan untuk sektor disekitarnya seperti 14 dan 16 juga memiliki konsentrasi yang besar.

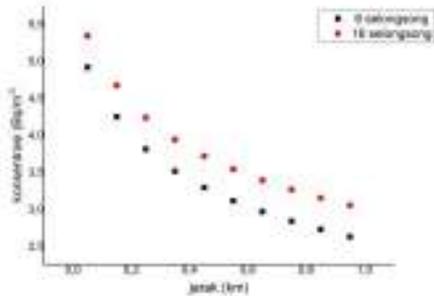


**Gambar 4 :** Konsentrasi <sup>90</sup>Sr pada kondisi 6 elemen bahan bakar meleleh pada jarak 0 – 1 km



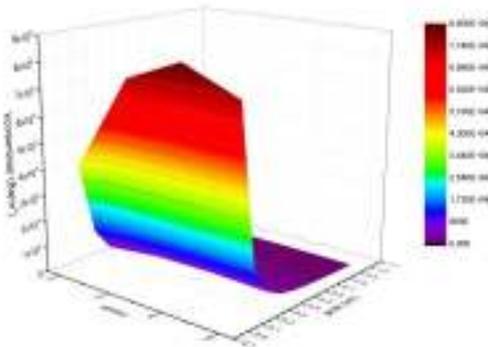
**Gambar 5 :** Konsentrasi  $^{90}\text{Sr}$  pada kondisi 16 elemen bahan bakar meleleh pada jarak 0 – 1 km

Dari Gambar 4 dan 5 dapat dibuat grafik perbandingan keduanya, sebagai berikut :

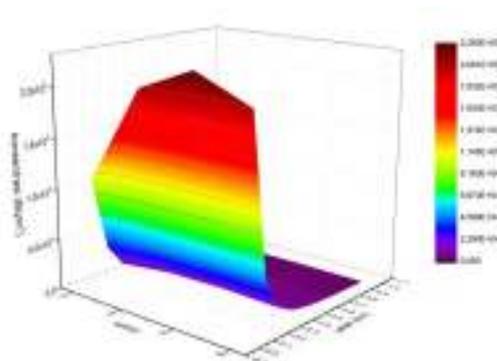


**Gambar 6 :** Perbandingan nilai konsentrasi nuklida  $^{90}\text{Sr}$  di sektor 15 pada kondisi 6 dan 16 elemen bahan bakar meleleh

Jika dilihat dari Gambar 6, bahwa konsentrasi pada kondisi 16 elemen bahan bakar yang meleleh didapatkan hasil yang lebih besar, hal ini dipengaruhi oleh nilai aktivitas radionuklida hasil fisi. Semakin besar nilai aktivitas, maka nilai konsentrasi akan semakin besar.

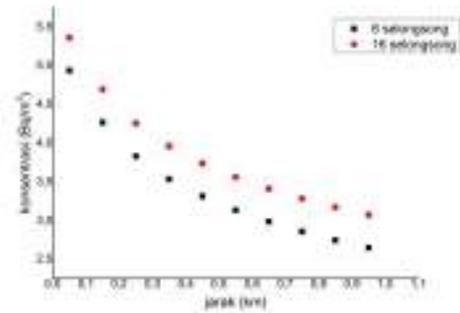


**Gambar 7 :** Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  pada kondisi 6 elemen bahan bakar meleleh pada jarak 0 – 1 km



**Gambar 8 :** Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  pada kondisi 16 elemen bahan bakar meleleh pada jarak 0 – 1 km

Dari Gambar 7 dan 8 dapat dibuat grafik perbandingan keduanya, sebagai berikut :



**Gambar 9 :** Perbandingan nilai konsentrasi nuklida  $^{137}\text{Cs}$  di sektor 15 pada kondisi 6 dan 16 elemen bahan bakar meleleh

Jika dilihat dari hasil kedua nuklida di atas, maka semakin banyak jumlah bahan bakar yang meleleh maka nilai konsentrasi radionuklida juga akan semakin besar, hal ini dikarenakan jumlah konsentrasi radionuklida yang terlepas ke lingkungan akibat dari kecelakaan nuklir semakin besar, besarnya nilai konsentrasi juga dipengaruhi oleh kecepatan angin pada saat terjadinya kecelakaan, atau dispersi di atmosfer dan karakteristik dari nuklida itu sendiri. Jika menurut Perka Bapeten Nomor 7 Tahun 2013 mengenai batas nilai konsentrasi di tanah yang dianggap aman pada setiap nuklida yaitu  $^{137}\text{Cs}$  sebesar  $2,5 \times 10^2 \text{ Bq/m}^3$  dan  $^{90}\text{Sr}$  sebesar  $9,4 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$ . Dari hasil didapatkan bahwa kedua nuklida tersebut melebihi batas aman yang telah ditetapkan oleh Bapeten, untuk  $^{90}\text{Sr}$  sebesar  $2,22 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$  dan  $^{137}\text{Cs}$  sebesar  $2,29 \times 10^5 \text{ Bq/m}^3$  di sektor 15 pada kondisi 16 elemen bahan bakar yang meleleh untuk setiap nuklida. Sehingga pada radius 0 sampai 1 km harus dilakukan penanganan khusus karena tergolong zona tidak aman, seperti masyarakat sekitar dihimbau untuk menggunakan masker pada saat keluar rumah atau beraktivitas.

Secara umum pengaruh mekanisme deposisi radionuklida sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca seperti curah hujan, distribusi nuklida di atmosfer dan mobilitas kontaminan ke permukaan tanah. Semakin besar konsentrasi radionuklida yang terpapar ke lingkungan maka dampak yang ditimbulkan dalam jangka waktu yang panjang akan sangat berbahaya dan efek untuk kesehatan akan menyebabkan kanker bahkan kematian.

**IV. KESIMPULAN**

Dari penelitian dilakukan dapat disimpulkan bahwa konsentrasi radionuklida yang terdeposisi ke tanah untuk setiap nuklida melebihi batas yang telah diijinkan oleh Bapeten pada Perka Bapeten Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Dosis Lingkungan, dapat dilihat pada Tabel 3 :

**Tabel 3 :** Perbandingan nilai konsentrasi di tanah dalam satuan  $\text{Bq/m}^3$

Nuklida	Perka Bapeten	Hasil Penelitian
Cesium-137	$2,5 \times 10^2$	$2,29 \times 10^5$
Stronsium-090	$9,4 \times 10^3$	$2,22 \times 10^5$

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih saya sampaikan untuk BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) yang telah melakukan pelatihan dan memberi saya *software* berupa Origen2 dan PC-Cosyma, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Dan saya ucapkan terima kasih pula untuk teman-teman Grup Riset Nuklir dan Radiasi Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan dukungan dan motivasi.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Suharno., Tjahjono, Hendro., Sugiyanto. (1996). Reaktor Nuklir dan Aspek Radiologisnya. Pusat Penelitian Teknologi dan Keselamatan Reaktor.
- [2] Rohman, Budi. (2009). Verifikasi Perhitungan Temperatur Elemen Bahan Bakar Reaktor Kartini. Prosiding Keselamatan Nuklir-BAPETEN.
- [3] Suharyana., Khakim, Azizul. (2016). Fisika Reaktor. Surakarta : UNS Press.
- [4] Hermawan, Nanang Triagus. (2009). Kecelakaan Reaktor Chernobyl. MREN-ITB.
- [5] Udiyani, Pande Made., Suparlina, Lily., Rokhmadi. (2007). Analisis Neutronik dan Keselamatan Radiologi Reaktor RSG-Gas Pada Teras Uranium Silida 300 Gram. Prosiding PPI-PDIPTN: Yogyakarta.
- [6] Udiyani, Pande Made., Kuntjoro, Sri. (2015). Pengaruh Kondisi Atmosferik Terhadap Perhitungan Probabilistik Dampak Radiologi Kecelakaan PWR 1000-MWe. ISSN 1411-240 x. Vol 17 No.3 Oktober 2015, Hal 149-158.



## DESKRIPSI KONDISI AT ONE STUCK ROD HTR-10 DITINJAU DARI NILAI SHUTDOWN MARGIN

Rizki Budi Rahayu<sup>1</sup>, Riyatun<sup>1</sup>, Suharyana<sup>1</sup>, Azizul Khakim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Group Riset Nuklir dan Radiasi, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

<sup>2</sup>Bidang PRND, PPSTPIBN, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta

e-mail: [riyatun@staff.uns.ac.id](mailto:riyatun@staff.uns.ac.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan simulasi komputasi HTR-10 dengan kode MVP (*Monte Carlo Visual Program*) dari JAERI. Kode ini dipilih karena lebih sederhana dalam menyusun *input* geometri reaktor. Data *library* kode MVP adalah JENDL-3.3, yang diisikan pada geometri reaktor yang telah disusun. HTR-10 merupakan jenis reaktor berbahan bakar *pebble bed*, berisi bola-bola uranium oksida (UO<sub>2</sub>) dengan pengayaan 17%, dibalut dengan lapisan TRISO. HTR-10 dimodelkan menggunakan grafit sebagai moderator dan reflektor, berpendingin gas helium, dan batang kendali terbuat dari boron karbida. HTR-10 dioperasikan dengan daya 10 MW dengan suhu rerata helium *inlet* dan *outlet* adalah 250°C dan 700°C, berukuran diameter teras 1,8 m dan ketinggian teras 1,97 m, berisi sekitar 27.000 *pebbles*. Simulasi difokuskan pada variasi posisi batang kendali, yaitu *at one stuck rod* (OSR) dari 10 batang kendali yang terdapat pada HTR-10. Hasil simulasi adalah nilai  $k_{eff}$  sehingga dapat dihitung nilai reaktivitas  $\rho$  dan *shutdown margin* (SDM). Hasil simulasi menunjukkan pada OSR diperoleh reaktivitas positif dan SDM  $1,9215 \pm 0,0009$ . Karena batas minimum nilai SDM adalah \$0,7, maka secara teori HTR-10 aman untuk menuju kondisi pemadaman reaktor jika terjadi OSR.

**Kata kunci** : HTR-10, kode MVP, OSR, *shutdown margin*

### ABSTRACT

*Neutronic simulation of HTR-10 has been performed with MVP (Monte Carlo Visual Program) code by JAERI. This code is chosen because it is the most simple to draw up reactor geometry inputs. The MVP code library data is JENDL-3.3, which is filled on the reactor geometry that has been arranged. HTR-10 is a type of a pebble bed reactor, containing uranium oxide spherical ball (UO<sub>2</sub>) with 17% enrichment, covered by a layer of TRISO. HTR-10 is modeled using graphite as a moderator and reflector material, helium gas as a coolant material, and control rod is a boron carbide material. HTR-10 is operated at a power of 10 MW with average temperature of helium inlet and outlet is 250°C and 700°C, the diameter of core is 1.8 m and the height of core is 1.97 m, containing about 27000 pebbles. This simulation is focused on the variation of control rod position, which at one stuck rod of the 10 control rods is found on the HTR-10. The simulation result is  $k_{eff}$  value, so it can be calculated the value of reactivity,  $\rho$ , and shutdown margin (SDM). The simulation result show that the OSR is obtained by positive reactivity and SDM  $1.9215 \pm 0.0009$ . Since the minimum value of SDM is \$0.7, according the theoretical of HTR-10 is safe to be shutdown OSR case.*

**Keywords** : HTR-10, MVP code, OSR, *shutdown margin*

### I. PENDAHULUAN

Meningkatnya permintaan akan energi yang bersih dan efisien di dunia sangat tinggi. Implementasi teknologi baru pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) adalah sebagai energi yang efisien dan bersih polusi, serta mengimbangi ekonomi dunia<sup>[1]</sup>. Reaktor nuklir tipe *High Temperature Reactor* (HTR) merupakan penghasil energi, oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dikategorikan sebagai reaktor generasi ke-IV yang memiliki keselamatan pasif juga keselamatan *inherent*<sup>[2]</sup>.

HTR-10 dioperasikan dengan daya 10 MW, pertama kali dioperasikan di *Institute of Nuclear Energy Technology* (INET), Tsinghua University, China. Suhu rerata helium *inlet* dan *outlet* adalah 250°C dan 700°C, berpendingin gas helium. HTR-10 berukuran diameter teras 1,8 m dan ketinggian rata-rata teras 1,97 m, berisi sekitar 27.000 *pebbles*. Bahan bakar HTR-10 adalah

UO<sub>2</sub>, dibalut dengan lapisan TRISO terdapat di dalam *pebble bed*<sup>[3]</sup>.

Salah satu komponen utama HTR-10 adalah batang kendali yang berfungsi untuk mengendalikan daya atau kritikalitas suatu reaktor dengan cara mengatur posisi batang kendali tersebut. Kritikalitas merupakan parameter yang digunakan untuk memantau perubahan jumlah neutron tiap siklus. HTR-10 mempunyai 10 batang kendali yang terbuat dari boron karbida. Batang kendali terletak di bagian samping reflektor<sup>[4]</sup>. Jumlah populasi neutron dikendalikan dengan batang kendali.

Faktor multiplikasi efektif merupakan ukuran perubahan fraksi populasi neutron pada setiap generasi yang disebut dengan reaktivitas. Reaktivitas,  $\rho$ , dapat dihitung jika diketahui jumlah generasi awal neutron  $N_0$  dan jumlah generasi neutron selanjutnya  $N_0 k_{eff}$ .

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{N_0 k_{eff} - N_0}{N_0 k_{eff}} \\ &= \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}}\end{aligned}\quad (1)$$

Reaktor nuklir selalu didesain memiliki nilai tambahan reaktivitas pada tingkat daya tertentu. Tambahan reaktivitas tersebut dinamakan sebagai reaktivitas lebih teras (*excess reactivity*). *Excess reactivity* disimbolkan dengan  $\rho_{excess}$ <sup>[5]</sup>.

Reaktivitas negatif diperlukan agar pengoperasian reaktor dapat dipadamkan setiap saat pada sembarang tingkat daya. Reaktivitas negatif tersebut disediakan oleh pengendali reaktivitas yaitu batang kendali. Parameter yang menunjukkan kemampuan pemadaman operasi reaktor dari sistem pengendali reaktivitas dinamakan *shutdown margin*<sup>[6]</sup>.

Nilai SDM dapat dihitung dari pengurangan antara reaktivitas total batang kendali dengan reaktivitas lebih. Penentuan nilai SDM *at one stuck rod* (OSR) ditentukan dengan Persamaan (3). Nilai SDM akan bervariasi untuk tiap-tiap reaktor. Nilai batas minimum SDM reaktor riset sekitar 0,5 %  $\Delta k/k$  atau setara dengan  $0,7$ <sup>[7]</sup>.

$$SDM = \rho_{total\ rod} - \rho_{excess} \quad (2)$$

$$SDM\ (OSR) = SDM - \rho_{max} \quad (3)$$

$$\rho_{total\ rod} = \frac{K_2 - K_1}{K_2 \times K_1} \quad (4)$$

$$\rho_{excess} = \frac{K_2 - 1}{K_2} \quad (5)$$

Pada kondisi normal, reaktor berada pada kondisi kritis dengan tingkat daya konstan. Ketika dalam kondisi darurat, tingkat daya reaktor harus segera diturunkan dengan cara mengatur posisi batang kendali. Jika batang kendali dimasukkan ke dalam teras, maka nilai  $k_{eff}$  akan menurun.

Terdapat tiga dasar fungsi keselamatan reaktor nuklir yaitu reaktor dapat dipadamkan, bahan bakar yang dapat didinginkan dan radiasi zat radioaktif pada reaktor tidak melebihi batas<sup>[8]</sup>. Pada penelitian ini hanya ditinjau pada fungsi keselamatan reaktor dapat padamkan. Pada fungsi tersebut, ketika laju reaksi fisi di dalam teras meningkat, maka jumlah neutron yang dihasilkan dari reaksi fisi tersebut juga akan meningkat. Untuk mengendalikan laju reaksi fisi dilakukan dengan mengurangi jumlah neutron, sehingga diperlukan batang kendali sebagai penyerap neutron.

Dalam pengkajian neutronik, pemanfaatan simulasi komputer mutlak diperlukan. Tersedia cukup banyak kode neutronik, diantaranya kode MCNP, MORSE, MVP, dan sebagainya. Kode MVP merupakan metode berbasis Monte Carlo, yang didasarkan pada model energi kontinu. Kode MVP dikembangkan oleh *Japan Atomic Energy Research Institute*, yang dapat digunakan untuk menganalisis gerakan suatu partikel, baik neutron, foton, dan lain-lain. Salah satu kelebihan dari MVP yakni geometri yang digunakan langsung menggunakan volume<sup>[9]</sup>.

## II. METODE

Parameter *HTR-10* mengacu pada penelitian Terry *et al.* (2006) tertulis pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter *HTR-10*

Parameter	Nilai
Tipe reaktor	HTR-10
Bahan bakar : densitas	
Buffer	1,10 g/cm <sup>3</sup>
IPyC	1,80 g/cm <sup>3</sup>
SiC	3,28 g/cm <sup>3</sup>
OPyC	1,90 g/cm <sup>3</sup>
UO <sub>2</sub>	10,40 g/cm <sup>3</sup>
<sup>235</sup> U	17%
Jari-jari teras	90 cm
Tinggi batang kendali	258,764 cm
Diameter batang kendali	13 cm

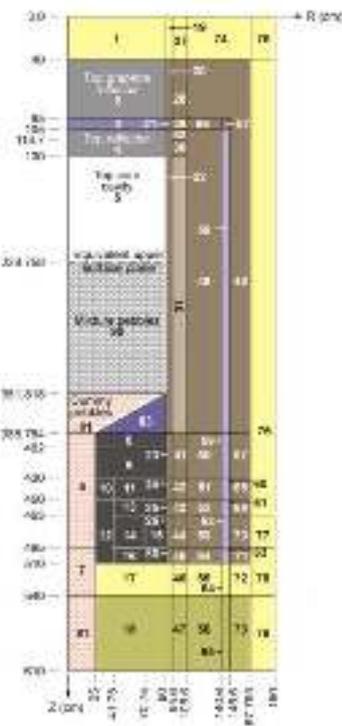
Tahap pertama adalah *input* material penyusun *HTR-10* pada geometri reaktor yang telah dibuat. Format *input* material sebagai berikut:

& IDMAT(material-ID)

Nuclide-ID (number - density)

Nuclide-ID (number - density)

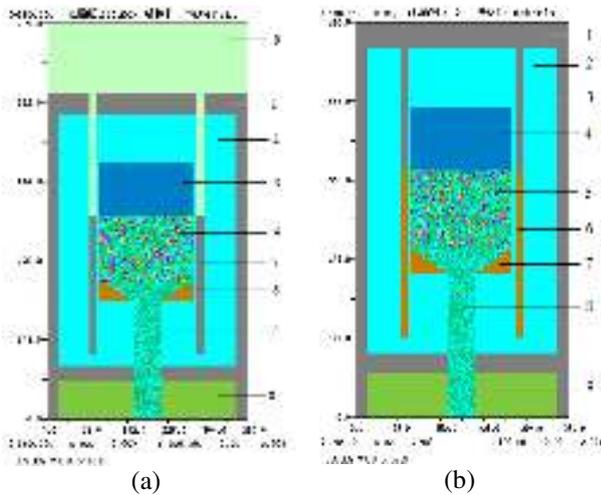
Tahap kedua yaitu pembuatan geometri reaktor yang diawali dengan membuat *bodies*, *zones* dan *tally region*. Geometri *HTR-10* berbentuk silinder yang terdiri dari beberapa komponen, diantaranya reflektor, *top cavity*, teras reaktor, pendingin, *dummy* moderator, batang kendali dan *carbon bricks*. Geometri mengacu pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang melintang *HTR-10*<sup>[10]</sup>

Tahap ketiga adalah pengaturan posisi 10 batang kendali *fully down* dan *fully up*, yang ditunjukkan pada Gambar 2 di bidang XZ. Tahap selanjutnya dapat dilakukan variasi posisi batang kendali *at one stuck rod*. Variasi pada batang kendali dengan posisi *at one stuck rod* di bidang XY dapat

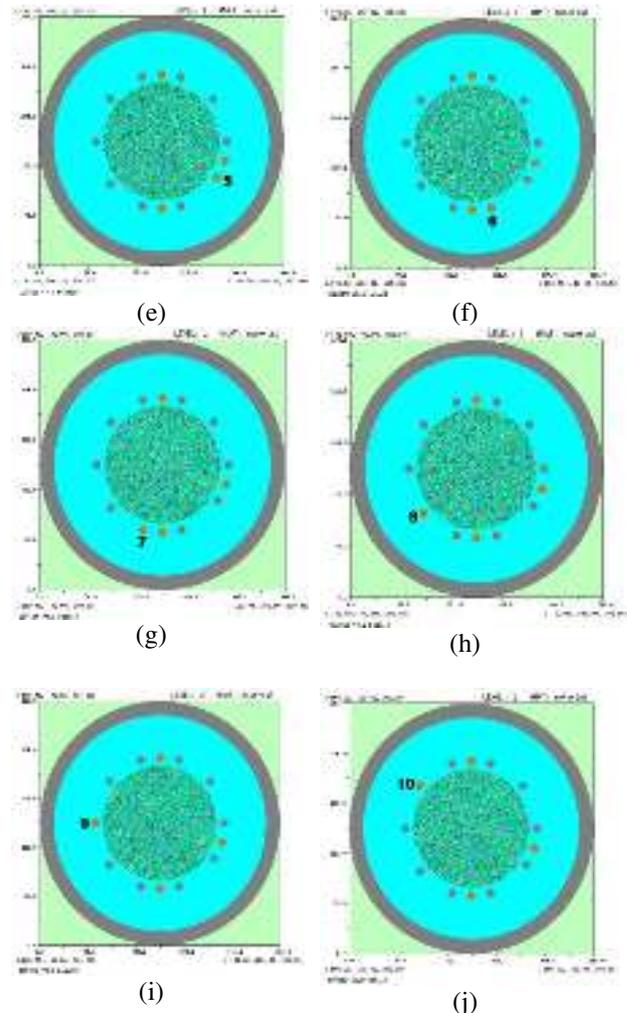
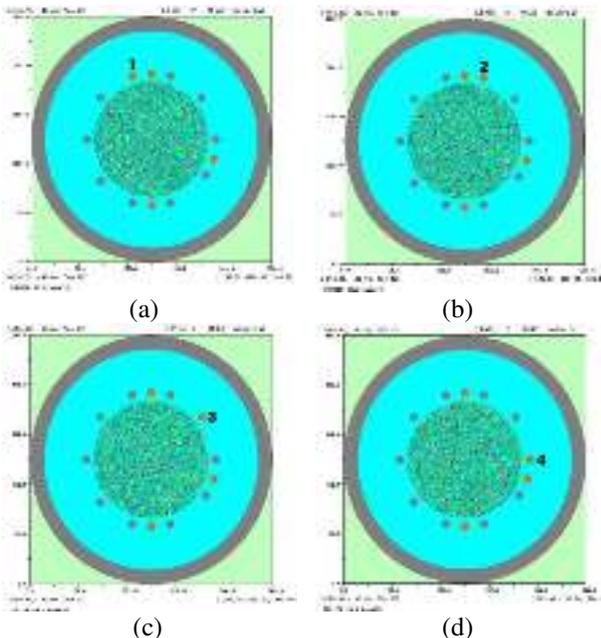
ditampilkan menggunakan CGVIEW seperti yang terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 2.** Geometri bidang XZ, (a) posisi batang kendali *fully down*, (b) posisi batang kendali *fully up*

Keterangan gambar 2 sebagai berikut:

- Boron karbida yang melapisi reaktor nomor 1.
- Reflektor nomor 2.
- *Top cavity*, gambar 2(a) nomor 3, gambar 2(b) nomor 4.
- Teras bahan bakar, gambar 2(a) nomor 4, gambar 2(b) nomor 5.
- Batang kendali, gambar 2(a) nomor 5 posisi *fully down*, gambar 2(b) nomor 3 posisi *fully up*.
- Pendingin, gambar 2(a) nomor 6, gambar 2(b) nomor 7.
- Dummy moderator, gambar 2(a) nomor 7, gambar 2(b) nomor 8.
- Carbon bricks, gambar 2(a) nomor 8, gambar 2(b) nomor 9.
- Ruang kosong batang kendali, gambar 2(a) nomor 9 adalah void, gambar 2(b) nomor 6 adalah helium.



**Gambar 3.** Geometri bidang XY untuk *at one stuck rod*, batang kendali (a) ke-1 (b) ke-2 (c) ke-3 (d) ke-4 (e) ke-5 (f) ke-6 (g) ke-7 (h) ke-8 (i) ke-9 (j) ke-10

Tahap terakhir adalah *running* program. Hasil *running* menunjukkan nilai  $k_{eff}$  saat batang kendali *fully up* dan *fully down* serta saat di variasi batang kendali pada posisi *at one stuck rod*. Dari nilai  $k_{eff}$  yang diperoleh, dapat dilakukan perhitungan nilai reaktivitas dan perhitungan SDM OSR. Perhitungan nilai *shutdown margin* menggunakan Persamaan (2) dan (3).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

*Benchmark* atau perbandingan dengan model serupa dilakukan terhadap penelitian Terry *et al.* (2006). Nilai  $k_{eff}$  penelitian ini adalah  $(0,981 \pm 0,001)$  yakni dengan kode MVP, sedangkan Terry *et al.* menggunakan ketentuan INET memiliki nilai  $k_{eff}$  berada pada rentang 0,952 – 1,044. Nilai  $k_{eff}$  yang diperoleh dari penelitian ini, berada di dalam batas rentang nilai  $k_{eff}$  referensi tersebut.

Pada Tabel 2 disajikan hasil *running* untuk 10 batang kendali *fully up* dan *fully down*. Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa nilai  $k_{eff}$  yang diperoleh dari penelitian dan referensi sedikit berbeda. Perbedaan tersebut dimungkinkan karena nilai *packing fraction*

bahan bakar yang digunakan dalam simulasi berbeda. *Packing fraction* merupakan besaran yang menunjukkan jumlah total ruang yang diisi oleh suatu material. Nilai *packing fraction* dapat ditentukan dengan perbandingan antara jumlah volum dari seluruh bahan bakar dan volum total teras. IAEA (2006) menggunakan *packing fraction* sekitar 0,6. Struktur bahan bakar yang disimulasikan tersebut sangat renggang dengan sisa 0,4 diisi oleh pendingin helium. Pada penelitian ini, bahan bakar reaktor dianggap berada pada keadaan terkompaksi. Kompaksi bahan bakar disimulasikan dengan merapatkan struktur bahan bakar *HTR-10*.

**Tabel 2.**  $k_{eff}$  posisi 10 batang kendali

Posisi	$k_{eff}$ peneliti	$k_{eff}$ referensi
Batang Kendali		(IAEA, 2001)
<i>Fully up</i> ( $K_2$ )	$1,1167 \pm 0,0008$	0,9974
<i>Fully down</i> ( $K_1$ )	$0,9723 \pm 0,0008$	0,8277

Dari nilai batang kendali *fully down* dan *fully up* dapat dihitung nilai reaktivitas total batang kendali dan reaktivitas lebih menggunakan Persamaan (4) dan (5), diperoleh hasil yang ditunjukkan seperti Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan nilai  $\rho_{total rod}$  dan

Hasil perhitungan	$\rho_{excess}$	
	$\rho$ ( $\% \Delta k/k$ )	$\rho$ (\$)
$\rho_{total rod}$	$13,301 \pm 0,001$	$19,002 \pm 0,001$
$\rho_{excess}$	$10,4520 \pm 0,0006$	$14,9315 \pm 0,0006$

Nilai  $k_{eff}$  hasil simulasi dengan variasi batang kendali OSR tertulis pada Tabel 4.

**Tabel 4.**  $k_{eff}$  posisi batang kendali OSR

Batang Kendali ke-	$k_{eff}$ ( $K_3$ )	$\rho_{rod}^i$ ( $\% \Delta k/k$ )	$\rho_{rod}^i$ (\$)
1	$0,9853 \pm 0,0008$	1,3536	1,9337
2	$0,984 \pm 0,001$	1,2438	1,7768
3	$0,9867 \pm 0,0009$	1,5013	2,1447
4	$0,9860 \pm 0,0009$	1,4317	2,0453
5	$0,9861 \pm 0,0009$	1,4325	2,0493
6	$0,987 \pm 0,001$	1,5044	2,1491
7	$0,9841 \pm 0,0009$	1,2361	1,7671
8	$0,9858 \pm 0,0009$	1,4117	2,0167
9	$0,9861 \pm 0,0009$	1,4352	2,0503
10	$0,9866 \pm 0,0009$	1,4966	2,1371

Ketika salah satu batang kendali ke- macet (kolom ke-1), nilai  $k_{eff}$  yang diperoleh berada pada batas minimum dan maksimum sebesar 0,984 dan 0,987 (kolom ke-2). Hal tersebut dapat dikatakan bahwa pada rentang  $k_{eff}$  minimum dan maksimum reaktor tetap berada pada kondisi subkritis. Kondisi tersebut dapat dikarenakan sembilan batang kendali yang berhasil dijatuhkan ke dalam teras efektif menyerap neutron hasil generasi selanjutnya.

Nilai  $k_{eff}$  tidak selalu konstan selama reaktor dioperasikan. Perubahan nilai  $k_{eff}$  tersebut dinyatakan oleh besaran reaktivitas,  $\rho$ . Karena nilai  $k_{eff}$  berbanding lurus dengan nilai  $\rho$ , maka pada Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai  $\rho$  dari posisi batang kendali OSR tidak selalu konstan pula. Nilai  $\rho$  yang diperoleh berada pada batas minimum dan maksimum sebesar  $1,2361 \% \Delta k/k$  dan  $1,5044 \% \Delta k/k$ . Dari nilai  $k_{eff}$  maksimum, dapat ditentukan nilai reaktivitas maksimum ( $\rho_{max}$ ) yang akan digunakan dalam perhitungan SDM OSR dan diperoleh hasil yang terlihat pada Tabel 5 menggunakan Persamaan (3).

**Tabel 5.** Hasil perhitungan nilai SDM dan SDM OSR

Perhitungan	Hasil ( $\% \Delta k/k$ )	Hasil (\$)
SDM	$2,849 \pm 0,002$	$4,071 \pm 0,002$
SDM OSR	$1,3450 \pm 0,0009$	$1,9215 \pm 0,0009$

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, maka dapat disimpulkan nilai SDM OSR sebesar  $\$1,9215 \pm 0,0009$  lebih besar dari batas minimum  $\$0,7$ . Secara teori simulasi *HTR-10* diprediksi aman jika terjadi OSR.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Grup Riset Nuklir dan Radiasi FMIPA-UNS mengucapkan kepada pihak BAPETEN yang telah bekerja sama dan meminjamkan *software MVP*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hugo, J. V., & Gertman, D. I. (2015) A method to select human – system interfaces for Nuclear power plant. *Journal Nuclear Engineering and technology*, 48, 87-97.
- [2] Abdullah, A. G., & Su'ud, Z. (2012). Analisis kecelakaan reaktor akibat kegagalan sistem pembuangan panas pada reaktor nuklir generasi IV. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 8, 106-114.
- [3] Nagaya, Y., Okumura, k., Mori, T., & Nakazato, W. (2004). Analysis of the HTR-10 initial core with a Monte Carlo code MVP. *Journal Physics of Fuel Cycles and Advanced Nuclear systems*, April, 25-28.
- [4] IAEA. (2003). The high temperature gas cooled reactor test module core physics benchmarks. IAEA Publication.
- [5] Sutondo, T. (2010). Analisis Pengaruh Pengoperasian Terhadap Kemampuan Shutdown Batang Kendali pada Reaktor Kartini, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, November, 813-820, ISSN 1978-0176.
- [6] Sutondo, T. (2010). Analisis Pengaruh Pengoperasian Terhadap Kemampuan Shutdown Batang Kendali Pada reaktor Kartini. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, November, 813-820, ISSN 1978-0176.

- [7] Sutondo, T., & Yulianti, N. (2006). Analisis batas reaktivitas sampel eksperimen pada reaktor kartini. Prosiding PPI – PDIPTN Pustek Akselerator dan Proses Bahan, Juli, 380-385.
- [8] Noeggerath, J., Geller, R. J., & Gusiakov, V. K. (2011). Fukushima: The Myth of Safety, the reality of Geoscince. Bulletin of the Atomic Scientists, 67: 37.
- [9] JAERI. (2005). MVP/GMVP II : General purpose monte carlo codes for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods, Tokyo: Japan Atomic Energy Research Institute.
- [10] Terry, W.K., Kim, S.S., Montierth, L.M., Cogliati, J.J., & Ougouag, A.M. (2006). Evaluation of the HTR-10 Reactor as a Benchmark for Physics Code QSA. Physor-2006 ANS Topical Meeting on Reactor Physics.



## PERHITUNGAN DAMPAK RADIOLOGI AKIBAT PENGOPERASIAN HTGR DENGAN PROGRAM KOMPUTER CROM

Agus Waluyo

P2STPIBN-BAPETEN

email:a.waluyo@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang saat ini berniat untuk membangun reaktor daya eksperimental. Reaktor daya eksperimental yang akan dibangun adalah tipe HTGR. HTGR mempunyai banyak keunggulan dalam hal keselamatan, tetapi tidak kalah penting juga untuk memperhatikan dampak radiologi yang ditimbulkan karena pengoperasian reaktor ini. Salah satu persyaratan pengoperasian instalasi nuklir adalah batas maksimum dosis yang diterima masyarakat tidak boleh lebih 1 mSv/tahun. Oleh karena itu dalam kajian ini akan dilakukan perhitungan dosis yang diterima masyarakat karena pengoperasian HTGR dengan menggunakan program komputer CROM dan dibandingkan dengan nilai batas maksimum dosis yang boleh diterima oleh masyarakat. CROM adalah program yang digunakan untuk menghitung dispersi radionuklida ke lingkungan dan juga dosis yang diterima masyarakat akibat pengoperasian PLTN pada kondisi normal. Dari perhitungan didapat hasil dosis yang diterima oleh masyarakat karena pengoperasian HTGR adalah  $1,11E-04$  mSv/tahun. Hasil tersebut jauh dibawah batas nilai maksimum dosis yang boleh diterima oleh masyarakat. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa HTGR pada kondisi normal tidak terlalu signifikan terhadap dampak radiologi yang diterima oleh masyarakat.

**Kata kunci:** HTGR, dosis, dampak radiologi, CROM

### ABSTRACT

Indonesia is one of country which want to construct experimental power reactor. Type of experimental power reactor is HTGR. HTGR have many advantages in the safety aspect, but we must consider about radiological impact from the operational HTGR. Some of requirement for construction nuclear installation is doses which will be received by public can not exceed 1 mSv/year. For this research will calculate doses which received by public cause of the HTGR operational using CROM software and the results will be compared with requirement in Bapeten Chairman Regulation about the limitation doses which received by the public. CROM is software for calculate radionuclide dispersion to the environment and also calculate doses which received by the public from the operation of NPP in normal operation. Result from the calculation show that doses which received by the public cause of HTGR operation is  $1,11E-04$  mSv/year. That result is lower than doses limit which regulate in BAPETEN Chairman regulation. From this calculation we can conclude that in normal operation HTGR do not have significant radiological impact to the public.

**Keywords :** HTGR, doses, radiological impact, CROM

### I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang saat ini berniat untuk membangun reaktor daya experimental. Reaktor daya experimental yang akan dibangun adalah tipe HTGR. Alasan untuk memilih HTGR, karena HTGR mempunyai beberapa keunggulan, antara lain:

1. Mempunyai efisiensi pembangkitan listrik tinggi dibandingkan dengan PLTN konvensional (PWR dan BWR).
2. Beroperasi pada temperatur tinggi, sehingga selain digunakan untuk menghasilkan listrik juga bisa digunakan untuk kogenerasi (produksi hidrogen, sumber panas yang dapat digunakan untuk gasifikasi batubara dan juga pengolahan bahan mineral lainnya)
3. Mempunyai sistem keselamatan yang tinggi, antara lain:
  - a. Mempunyai koefisien reaktivitas negatif.

- b. Bahan bakar TRISO yang menjamin produk fisi tidak lepas ke lingkungan.
- c. Mempunyai densitas daya yang rendah dibandingkan PLTN tipe LWR
- d. Mempunyai burn up tinggi.

Diantara keunggulan-keunggulan tersebut diatas, salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian HTGR adalah dampak radiologi terhadap masyarakat. Salah satu parameter yang perlu diperhatikan adalah berapa dosis yang diterima oleh masyarakat. Sesuai dengan peraturan BAPETEN nomor Nomor 4 Tahun 2013 tentang proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan tenaga Nuklir, salah satu persyaratan pengoperasian instalasi nuklir di Indonesia adalah nilai batas maksimum dosis yang diterima oleh masyarakat karena pengoperasian instalasi nuklir adalah sebesar 1 mSv/pertahun [1]. Oleh karena itu dalam kajian ini akan menghitung

berapa dosis yang diterima oleh masyarakat karena pengoperasian HTGR. Software yang dipakai dalam kajian ini adalah CROM.

CROM adalah software yang digunakan untuk menghitung dispersi radionuklida dari pengoperasian instalasi nuklir ke lingkungan dan menghitung dosis yang diterima oleh masyarakat. Karakteristik dari CROM adalah:

1. Digunakan untuk menghitung lepasan radioanuklida yang kontinu atau pengoperasian instalasi nuklir pada kondisi normal.
2. Stabilitas udara yang dipakai dalam CROM adalah D (neutral)
3. Hanya bisa digunakan untuk satu arah angin saja.
4. Metode yang dipakai untuk perhitungan dispersi adalah Gaussian

Untuk menghitung dispersi radionuklida serta dosis yang diterima masyarakat karena pengoperasian reaktor nuklir banyak software yang bisa melakukannya. Selain dengan CROM ada juga program AIRDOS-EPA. Hasil perhitungan dosis yang diterima masyarakat karena pengoperasian HTGR dengan menggunakan AIRDOS-EPA mendapatkan hasil untuk dosis paling besar yang diterima masyarakat adalah  $1,4E-4$  mSv/tahun pada jarak 1 Km [2].

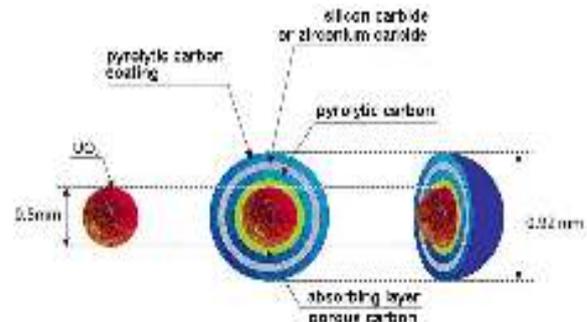
## II. DESAIN HTGR

Desain HTGR yang akan digunakan dalam kajian ini mengacu pada desain HTR-10 yang dibangun di China. HTR-10 merupakan reaktor yang memakai bahan bakar *pebble bed* yang berbentuk bola, bermoderator grafit serta memakai gas Helium sebagai pendinginnya. Berikut ini karakteristik desain dari HTR-10. [3]

**Tabel 1.** Karakteristik desain HTR-10

Daya Thermal (MW)	10
Tinggi Teras(cm)	197
Diameter Teras(cm)	180
Tekanan pada sisi primer Helium(Mpa)	3
Temperatur Helium( $^{\circ}$ C) <i>inlet</i>	250
Temperatur Helium( $^{\circ}$ C) <i>outlet</i>	700
Perbandingan bahan bakar dan bola grafit	0,57/0,43

Bahan bakar HTR-10 menggunakan bahan bakar berbentuk bola yang terdiri dari beberapa lapisan yang biasa disebut TRISO. Lapisan pertama merupakan lapisan bahan bakar  $UO_2$ , lapisan kedua lapisan penyangga, lapisan berikutnya adalah lapisan Pirolitik Karbon dalam, setelah itu adalah lapisan SiC dan lapisan paling luar adalah lapisan Pirolitik Karbon luar. Gambar 1 berikut ini menunjukkan susunan elemen bahan bakar TRISO  $UO_2$  untuk HTR-10.



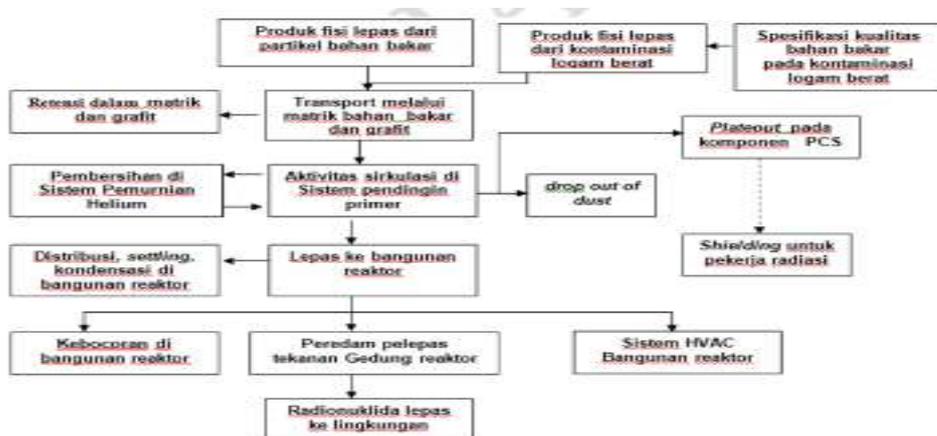
**Gambar 1** Susunan elemen bakar TRISO  $UO_2$  untuk HTR-10 [3]

## III. SOURCE TERM PADA HTGR

*Source term* yang digunakan pada kajian ini adalah *source term* pada HTR-10 pada kondisi normal. Dalam menentukan berapa *source term* pada HTR-10 perlu untuk mempertimbangkan lima perisai yang menghalangi lepasnya radionuklida ke lingkungan, lima penghalang tersebut antara lain [4]:

1. Kernel dari partikel bahan bakar
2. Lapisan silikon karbida dan pirokarbon pada partikel bahan bakar
3. Matrik bahan bakar dan grafit elemen bahan bakar
4. Batas tekanan Helium (sirkuit primer)
5. Bangunan reaktor

Gambar 2 menunjukkan jalur lepasnya radionuklida ke lingkungan yang melewati beberapa penghalang di HTGR.



**Gambar 2** Mekanisme *transport* nuklida dari teras reaktor HTGR ke lingkungan [4]

Perhitungan *source term* dari HTGR memerlukan beberapa software, antara lain software neutronik seperti VSOP, MCNP atau SCALE. Program neutronik ini berguna untuk menghitung distribusi fluks atau daya. Distribusi fluks maupun daya digunakan software seperti ORIGEN untuk menghitung inventori radionuklida yang ada di dalam teras. Dan yang terakhir adalah software yang digunakan untuk menghitung transport radionuklida dari teras hingga keluar ke lingkungan, Software yang digunakan untuk menghitung transport nuklida dari teras hingga keluar lingkungan salah satu contohnya adalah PANAMA. Dalam kajian ini tidak akan spesifik menghitung berapa besarnya *source term* dari HTGR tetapi mengacu ke yang telah melakukan kajian untuk menghitung *source term* dari HTGR khususnya HTR-10. Dari referensi tersebut didapat bahwa *source term* untuk HTR10 untuk kondisi normal adalah seperti di tunjukkan pada Tabel [2]

**Tabel 2** *Source term* HTR-10 untuk kondisi normal [2]

No	Nuklida	Aktivitas Bq/tahun
1.	H-3	7,9E+10
2.	Kr-83m	3,8E+08
3.	Kr-85	9,98E+1
4.	Kr-85m	6,38E+1
5.	Kr-87	1,6E+09
6.	Kr-88	3,2E+09
7.	Xe-131m	4,6E+07
8.	Xe-133m	2,9E+08
9.	Xe-133	5,78E+1

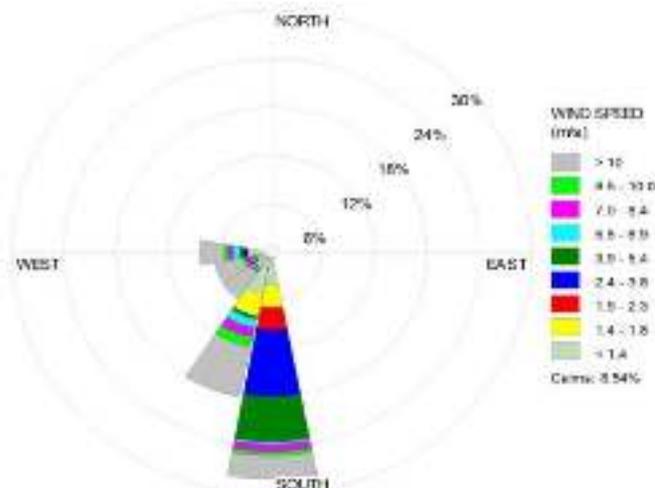
No	Nuklida	Aktivitas Bq/tahun
10.	Xe-135m	3,9E+08
11.	Xe-135	3,8E+09
12.	I-131	5,25E+07
13.	I-132	6,5E+07
14.	I-133	4,0E+07
15.	I-134	1,7E+08
16.	I-135	5,0E+07
17.	Sr-89	5,25E+07
18.	Sr-90	7,35E+05
19.	Cs-134	2,5E+05
20.	Cs-137	7.35E+05
21.	Ag-110m	1,1E+02
22.	Ar-41	1,6E+11
23.	C-14	3,1E+07

#### IV. PERHITUNGAN DOSIS YANG DITERIMA MASYARAKAT DISEBABKAN KARENA LEPASNYA RADIOAKTIF DARI HTGR

Kondisi meteorologi dan jumlah radionuklida yang lepas ke lingkungan akan mempengaruhi besarnya dosis yang diterima oleh masyarakat. Data meteorologi yang dibutuhkan dalam perhitungan antara lain:

- Arah angin
- Kecepatan angin
- Stabilitas udara
- curah hujan.

Untuk kajian ini arah angin ditunjukkan pada Gambar 3. Arah angin tersebut merupakan arah angin yang berada di daerah Puspiptek Serpong.



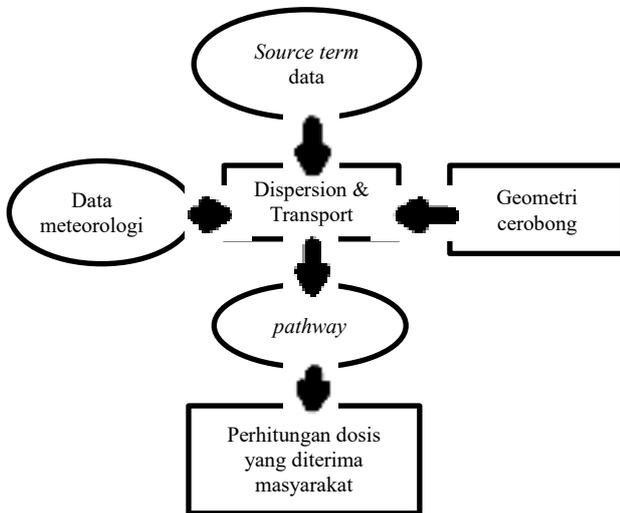
**Gambar 3** Kondisi dominan arah dan kecepatan angin

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa arah angin dominan adalah bertiup dari arah Selatan ke Utara (frekuensi kejadian sekitar 28%) dengan kecepatan dominan antara 2,4 hingga 3,8 m/s (frekuensi kejadian sekitar 8%). Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa konsentrasi zat radioaktif maksimum berada pada arah Utara.

Ketinggian titik lepasan untuk HTGR diasumsikan adalah 50 m diatas tanah. Ketinggian efektif (tinggi cerobong dan ketinggian *plume*) untuk perhitungan adalah 60 m.

Perhitungan dosis masyarakat yang digunakan dalam kajian ini menggunakan program komputer CROM. CROM adalah program komputer yang didesain oleh *Information Technology Laboratory*

(LABI) di *Polytechnic University of Madrid's School of Industrial Engineers* bekerja sama dengan *CIEMAT Department of Environmental Impact of Energy*. CROM merupakan program komputer yang dibuat untuk menghitung secara otomatis penyebaran konsentrasi radionuklida ke lingkungan dan dampaknya ke rantai makanan dan juga dosis yang diterima oleh manusia [5]



Gambar 4 Metode perhitungan pada CROM

Metode perhitungan dalam program CROM seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Dari data *source term*, didukung dengan data meteorologi dan geometri cerobong digunakan sebagai masukan untuk menghitung penyebaran radionuklida ke lingkungan. Dari data-data tersebut akan dapat diketahui, berapa radionuklida yang terdeposisi didalam udara maupun tanah. *Pathway* akan mempengaruhi berapa besar dosis yang akan diterima oleh masyarakat. Dosis yang diterima masyarakat dapat berasal dari paparan eksternal maupun internal. Paparan eksternal biasanya berasal dari paparan radionuklida yang terdoposisi di dalam udara maupun di tanah. Sedangkan paparan internal berasal dari radionuklida yang terhisap oleh masyarakat atau berasal dari tanaman atau daging hewan yang telah terkontaminasi oleh radionuklida.

CROM menggunakan metode perhitungan model Gaussian untuk dispersi radioaktif, dimana menggunakan persamaan matematis seperti berikut ini:

$$C_A(x, y, z) =$$

$$\frac{Q_i}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$C_A(x, y, z)$  = konsentrasi di udara ( $Bq/m^3$ ) pada titik ( $x, y, z$ )

$x$  = jarak dari *downwind* (m)

$y$  = jarak dari *crosswind* (m)

$z$  = ketinggian dari tanah (m)

$Q_i$  = kecepatan lepasnya zat radioaktif ( $Bq/s$ )

$\sigma_y, \sigma_z$  = parameter difusi

$u$  = kecepatan rata-rata angin

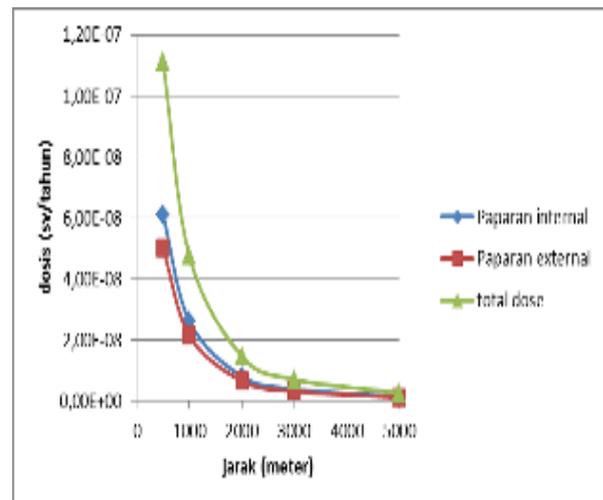
$H$  = Tinggi dari lepasan (m)

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam kajian ini jarak yang akan dianalisis adalah 500 m, 1000 m, 2000 m, 3000 m dan 5000 m dari tapak. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan CROM didapatkan hasil dosis yang diterima masyarakat seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Hasil perhitungan dosis dengan CROM

Jarak (m)	500	1000	2000	3000	5000
Internal (Sv/year)	6,10E-08	2,61E-08	8,10E-09	3,88E-09	1,43E-09
external (Sv/year)	5,00E-08	2,14E-08	6,64E-09	3,18E-09	1,24E-09
total (Sv/year)	1,11E-07	4,76E-08	1,47E-08	7,06E-09	2,67E-09



Gambar 5. Perbandingan Jarak dengan dosis yang diterima masyarakat

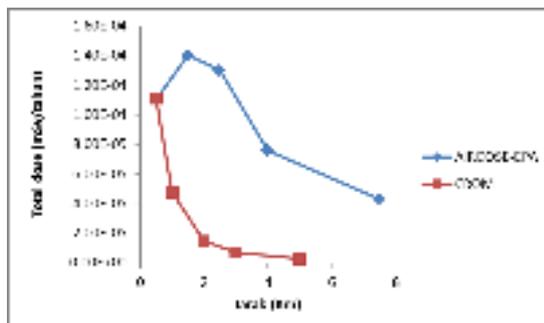
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dosis paling besar adalah pada jarak 500 m dan besar dosis total yang diterima masyarakat adalah  $1,11E-04$  mSv/tahun. Apabila kita bandingkan dengan Peraturan Kepala Bapeten mengenai nilai batas dosis maksimum yang boleh diterima masyarakat dalam setahun yaitu 1mSv/tahun. Maka dosis yang diterima masyarakat karena pengoperasian HTGR masih jauh dibawah nilai batas dosis maksimum yang dipersyaratkan (1 mSv/tahun).

Total dosis ini berasal dari paparan internal dan juga paparan eksternal. Paparan internal dipengaruhi beberapa faktor, antara lain jenis makanan, dan jumlah makanan yang dikonsumsi selama setahun, laju pernapasan dari masyarakat. Sedangkan untuk paparan eksternal beberapa faktor yang mempengaruhi antara lain, faktor shielding, lama masyarakat berada di luar ruangan atau rumah. Faktor shielding ini dipengaruhi oleh jenis bangunan atau rumah yang ditempati oleh masyarakat. Dalam kajian ini untuk input jenis makanan yang berpengaruh adalah dari sayuran dan untuk laju radionuklida yang terdoposisi ke tanaman, parameter-parameternya mengacu pada data general yang ada di dokumen "Generic Model for Use in Assessing the Impact of Discharge of Radioactive Substance to the Environment" [6]. Dalam dokumen tersebut juga ada data mengenai laju pernapasan untuk

masing masing daerah (Asia, Eropa, Afrika). Untuk *factor shielding* harusnya mengacu pada bangunan masyarakat yang ada disekitar tapak. Tetapi untuk di Indonesia belum ada standar khusus untuk *factor shielding* suatu bangunan, oleh sebab itu dalam kajian ini mengacu pada standar *factor shielding* pada perumahan yang ada di Eropa [7].

Apabila dibandingkan perhitungan dosis hasil dari CROM dan AIRDOSE EPA, hasilnya tidak terlalu jauh seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Perbedaan hasil ini disebabkan karena beberapa hal, antara lain:

- Data meteorologi yang dipakai untuk masukan CROM dan AIRDOSE-EPA berbeda, hal ini disesuaikan dengan kondisi tapak yang akan dianalisis
- Tinggi cerobong yang dimasukkan pada program CROM dengan AIRDOSE -EPA juga berbeda. Untuk masukan CROM tinggi efektif cerobong adalah 60 m, sedangkan untuk AIRDOSE- EPA adalah 40 m.
- Kondisi bangunan sekitar tapak antara yang dipakai AIRDOSE dan CROM juga memakai asumsi yang berbeda.



**Gambar 6** Perbandingan hasil CROM dan AIRDOSE-EPA

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan CROM dapat diambil kesimpulan bahwa pengoperasian HTGR tidak memberikan dampak signifikan terhadap dosis yang diterima masyarakat. Dosis yang diterima oleh masyarakat karena pengoperasian HTGR adalah  $1,11 \text{ E-4 mSv/tahun}$  jauh dibawah batas dosis yang dipersyaratkan di dalam PerKa BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam pemanfaatan Tenaga Nuklir ( $1 \text{ mSv/tahun}$ ).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir,” BAPETEN, Jakarta, 2013.
- [2] L. Yuanzhong dan C. Jianzhu, “Fission product release and its environment impact for normal reactor operation and for relevant accident,” *Nuclear Engineering and Design*, vol. 218, pp. 81-90, 2002.
- [3] U. C. Volkan Seker, “HTR-10 Full Core First

Criticality Analysis with MNCNP,” 2002.

- [4] Idaho National Laboratory, Mechanistic Source Terms White Paper, Idaho: Idaho National Laboratory, 2010.
- [5] B. R. J. R. D. C. Juan Carlos Mora, CROM Code User 'S Manual, Madrid: CIEMAT, ETSII-UPM.
- [6] IAEA, “Generic Model for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive substances to the Environment,” IAEA, Vienna, 2001.
- [7] P. H. Jensen, “Calculated Shielding Factors for Selected European House,” 1984. [Online]. Available: [http://orbit.dtu.dk/files/55671762/ris\\_m\\_2474.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/55671762/ris_m_2474.pdf). [Diakses 10 July 2017].
- [8] BAPETEN, “Peraturan Kepala BAPETEB Nomor 3 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Penentuan Dispersi Zat Radioaktif di Udara dan Air, dan Pertimbangan Distribusi Penduduk Sekitar Tapak Reaktor Daya,” BAPETEN, JAKARTA, 2008.



## MAKALAH PENYAJI POSTER UMUM





## KAJIAN PENATALAKSANAAN KESEHATAN PEKERJA RADIASI YANG MENERIMA DOSIS RADIASI BERLEBIH

Suhaedi Muhammad<sup>1</sup>, R.r. Djarwanti, RPS<sup>2</sup>, Susyati<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Kawasan Nuklir PasarJum'at

<sup>2</sup> Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, Kawasan Nuklir Serpong

e-mail: [suhaedi.muhammad62@gmail.com](mailto:suhaedi.muhammad62@gmail.com)

### ABSTRAK

Pasal 22 Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, menyatakan bahwa jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih maka Pemegang Izin (PI) berkewajiban menyelenggarakan penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi tersebut. Penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi sebagaimana tercantum pada Lampiran II Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi meliputi kajian penerimaan dosis, konseling, pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut. Kajian penerimaan dosis meliputi kajian potensi bahaya, kajian beban kerja, kajian frekuensi kerja dan kajian kondisi fasilitas kerja. Konseling meliputi konseling medik dan konseling psikologik. Pemeriksaan kesehatan meliputi pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus. Tindak lanjut meliputi tindakan koreksi yang harus dilakukan oleh PI. Pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih dapat bekerja kembali apabila telah dinyatakan sehat pada sertifikat/hasil pemeriksaan kesehatan yang mencakup resume pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus.

**Kata kunci** : penatalaksanaan kesehatan, pekerja radiasi, yang menerima dosis berlebih

### ABSTRACT

Article 22 Regulation of The head of the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) No. 4 year 2013 on Protection and Radiation Safety in the Utilization of Nuclear Energy states that if any radiation worker receives an excessive dose, licensee (PI) obliged to conduct the health management of those radiation worker. The health management of radiation worker as contained in Attachment II of The head of BAPETEN Regulation Number 6 Year 2010 on Health Monitoring for Radiation Worker includes dose acceptance study, counseling, medical examination and follow up. Dose acceptance study includes the study of potential hazards, the study of workload, the study of work frequency and the study of work facilities condition. Counseling includes medical counseling and psychological counseling. Medical examination includes general medical examination and special medical examination. Follow-up includes corrective actions to be performed by PI. Radiation worker who receives excessive dose may work again if has been declared healthy on the certificate/ medical examination result that includes a resume of a general medical examination and special medical examination.

**Keywords**: health management, radiation worker, who receives excessive dose

### I. PENDAHULUAN

Sesuai Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Pemegang Izin (PI) bertanggungjawab atas proteksi dan keselamatan radiasi di instalasi yang dipimpinnya [1].

Salah satu kewajiban PI dalam menerapkan program proteksi dan keselamatan radiasi pada kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir adalah adanya upaya PI yang bertujuan agar dosis yang diterima oleh pekerja radiasi yang berada dibawah tanggungjawabnya serendah mungkin yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi.

Jika pada pelaksanaan kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, Pasal 22 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan

Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, menyatakan bahwa PI berkewajiban menyelenggarakan penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi tersebut.

Sebagaimana tercantum pada Pasal 12 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi, penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih meliputi kajian penerimaan dosis, konseling, pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut [2].

Kajian penerimaan dosis meliputi kajian potensi bahaya, kajian beban kerja, kajian frekuensi kerja dan kajian kondisi fasilitas kerja. Konseling meliputi konseling medik dan konseling psikologik. Pemeriksaan kesehatan meliputi pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus. Tindak lanjut meliputi tindakan koreksi yang harus dilakukan oleh PI.

Dengan dilaksanakannya program penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih oleh PI, maka dapat dipastikan bahwa jaminan keselamatan dan kesehatan pekerja radiasi telah terwujud.

## II. METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan pada penyusunan tulisan tentang kajian penatalaksanaan kesehatan pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih ini berupa : dokumen Health Physics yang diterbitkan oleh Medhi Physics, dokumen Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, dokumen Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, dokumen Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi dan dokumen Tindakan Konseling bagi Pekerja Radiasi yang menerima dosis berlebih [1,2,3,4].

Metode yang digunakan terdiri dari :

1. Kajian berbasis dokumen-dokumen yang telah disebutkan di atas.
2. Kajian berbasis pengalaman penulis, khususnya pengalaman pada penanganan penerimaan dosis berlebih.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### KAJIAN PENERIMAAN DOSIS

Jika pada pelaksanaan kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, maka berdasarkan Pasal 23 huruf g, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan untuk Pekerja Radiasi, untuk keperluan kajian penerimaan dosis, PI terlebih dahulu berkewajiban untuk melakukan kajian potensi bahaya, kajian riwayat pekerjaan (yang mencakup kajian beban kerja dan kajian frekuensi kerja) dan kajian kondisi fasilitas kerja.

#### Potensi Bahaya

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, maka untuk keperluan kajian penerimaan dosis, faktor pertama yang harus dikaji oleh PI adalah seberapa besar potensi bahaya yang dihadapi oleh pekerja radiasi tersebut. Potensi bahaya yang dimaksud dapat berupa paparan radiasi, kontaminasi permukaan dan kontaminasi udara.

#### Paparan Radiasi

Dengan diketahuinya laju paparan radiasi dan lamanya waktu kerja yang dilakukan oleh pekerja radiasi, maka dapat diperkirakan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi tersebut, tanpa harus menunggu hasil evaluasi alat monitor dosis radiasi personal (misalnya *TLD-badge*).

Perkiraan besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi dapat ditentukan dengan rumus [3] :

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Waktu Kerja} \times \text{Paparasi Radiasi}}{6000} \text{ mSv}$$

dengan paparan radiasi dalam satuan mR/jam, waktu kerja dalam satuan menit serta 6000 merupakan faktor konversi dari mR ke mSv dan dari jam ke menit.

#### Kontaminasi Permukaan

PI berkewajiban mengkaji apakah tingkat kontaminasi permukaan di daerah kerja melebihi batas yang diizinkan (yaitu 0,37 Bq/cm<sup>2</sup> untuk alpha atau 3,7 Bq/cm<sup>2</sup> untuk beta/gamma) atau tidak [3].

#### Kontaminasi Udara

PI berkewajiban mengkaji apakah tingkat kontaminasi udara di daerah kerja melebihi batas yang diizinkan (yaitu 0,1 Bq/liter gamma) atau tidak [3].

Dengan diketahuinya tingkat kontaminasi permukaan dan udara maka dapat diketahui besarnya kontribusi kontaminasi tersebut bagi penerimaan dosis radiasi.

#### Beban Kerja dan Frekuensi Kerja

Untuk menyelidiki penyebab besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi, maka PI berkewajiban mengkaji beban pekerjaan yang ditanggung oleh pekerja radiasi dan frekuensi pelaksanaan pekerjaan tersebut.

Dari hasil kajian tersebut, PI dapat mengetahui jenis pekerjaan apa saja yang dilakukan oleh pekerja radiasi dan frekuensi pekerjaan tersebut dilakukan.

Selanjutnya dapat diketahui apakah beban pekerjaan dan frekuensi pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi masih dalam batas wajar atau telah melampaui batas wajar.

#### Riwayat Kerja

Untuk membuktikan kebenaran penerimaan dosis berlebih yang dialami oleh pekerja radiasi, maka PI berkewajiban menelusuri riwayat pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi tersebut pada periode waktu yang diduga terdapat potensi bahaya yang memberi kontribusi signifikan pada penerimaan dosis berlebih tersebut.

Penelusuran riwayat pekerjaan meliputi tanggal pelaksanaan pekerjaan, jenis pekerjaan, lokasi dilakukannya pekerjaan, jenis zat radioaktif dan/atau sumber radiasi yang digunakan, besarnya aktivitas radioaktif yang digunakan, lamanya waktu pelaksanaan pekerjaan dan besarnya laju paparan radiasi.

Dari hasil penelusuran riwayat pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi dan potensi bahayanya, dapat diketahui jenis pekerjaan apa yang dipandang memberikan kontribusi signifikan pada penerimaan dosis radiasi dan dapat diketahui penyebab terjadinya penerimaan dosis berlebih oleh pekerja radiasi tersebut.

#### Kondisi Fasilitas Kerja

Hal berikutnya yang wajib dikaji oleh PI terkait dengan adanya penerimaan dosis berlebih adalah kondisi fasilitas kerja yang meliputi :

1. Fasilitas dan peralatan yang digunakan oleh pekerja radiasi dalam menangani zat radioaktif dan/atau sumber radiasi apakah masih dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan atau telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada faktor keselamatan pekerja radiasi.
2. Untuk fasilitas yang memiliki dampak radiologi tinggi, PI berkewajiban mengkaji sistem tata udara / sistem *heating, ventilation, and air-conditioning* (HVAC) yang ada apakah dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan atau telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada faktor keselamatan pekerja radiasi. Salah satu faktor yang perlu diperhatikan terkait dengan sistem HVAC adalah tekanan negatif ruangan yang digunakan untuk penanganan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi dan pola aliran udara antar ruangan apakah masih sesuai dengan yang dipersyaratkan atau telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada faktor keselamatan pekerja radiasi.
3. Fasilitas dan peralatan yang terkait dengan sistem keselamatan yang ada di tempat dilakukannya penanganan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi apakah dalam kondisi baik sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan atau telah mengalami perubahan sehingga berpengaruh pada keselamatan pekerja radiasi.

### Hasil Kajian Penerimaan Dosis

Jika hasil kajian penerimaan dosis yang dilakukan oleh PI menunjukkan nilai dosis yang diterima oleh pekerja radiasi tersebut di atas nilai dosis ambang untuk efek deterministik sebagaimana ditetapkan pada Lampiran III Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010, maka pekerja radiasi tersebut harus mendapatkan pemeriksaan dosimetri biologi (yaitu pemeriksaan sel darah lengkap, pemeriksaan limfosit absolut dan pemeriksaan biomarker sitogenetik seperti aberasi kromosom) oleh laboratorium yang terakreditasi untuk konfirmasi dosis dan pemeriksaan kesehatan khusus.

Jika hasil kajian penerimaan dosis yang dilakukan oleh PI menunjukkan nilai dosis yang diterima oleh pekerja radiasi tersebut di atas 0,2 Sv, maka pekerja radiasi tersebut harus mendapatkan pemeriksaan dosimetri biologi [2,4].

Jika PI mengalami keraguan terhadap dosis yang diterima oleh pekerja radiasi, maka PI dapat berkonsultasi dengan tenaga Ahli Proteksi dan Keselamatan Radiasi yang diakui oleh asosiasi profesi bidang Proteksi dan Keselamatan Radiasi.

## KONSELING

### Pengertian Konseling

Secara umum, yang dimaksud dengan konseling atau penyuluhan adalah pemberian bantuan konsultasi yang dilakukan oleh seorang ahli (disebut konselor/pembimbing) kepada individu yang mengalami suatu masalah (disebut konseli) yang bermuara pada

teratasinya masalah yang dihadapi oleh individu tersebut [5].

Sedangkan menurut Pasal 1 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 yang dimaksud dengan Konseling adalah pemberian bimbingan oleh dokter dan/atau psikolog kepada seseorang dengan menggunakan metode psikologis ataupun arahan [2].

### Dasar Hukum Konseling

Kewajiban PI untuk menyelenggarakan konseling bagi pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih tercantum pada Pasal 8 Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 dan Pasal 11 ayat 2 huruf c Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2010 [2,4].

### Tujuan Konseling

Konseling yang diberikan kepada pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih adalah konseling yang sifatnya perorangan / individu. Konseling tersebut memiliki 5(lima) fungsi yaitu [5] :

1. Fungsi pemahaman.  
Pekerja radiasi diarahkan untuk memahami/menyadari bahwa dirinya telah menerima dosis yang melebihi batas yang diizinkan dan memerlukan konseling guna mengatasi berbagai masalah yang mungkin muncul akibat penerimaan dosis berlebih tersebut, baik masalah medis maupun psikologis.
2. Fungsi pengentasan.  
Pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih diarahkan untuk memiliki persepsi/pola pikir, sikap dan semangat agar dapat mengentaskan diri keluar dari masalah yang sedang dihadapi, baik masalah medis maupun psikologis.
3. Fungsi pengembangan/pemeliharaan.  
Pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih diarahkan untuk mampu mengembangkan/menumbuhkan dan memelihara semangat untuk mengentaskan diri keluar dari masalah yang sedang dihadapi, baik masalah medis maupun psikologis.
4. Fungsi pencegahan.  
Pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih diarahkan untuk mampu mencegah menjalarnya masalah yang sedang dihadapi, sehingga tidak muncul masalah-masalah yang baru.
5. Fungsi advokasi.  
Konseling merupakan salah satu bentuk upaya legal yang dapat dipilih oleh pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, dalam hal diduga telah terjadi pelanggaran atas hak pekerja radiasi yang dilakukan oleh PI.

### Proses Konseling

Untuk keperluan pelaksanaan konseling, PI berkewajiban menunjuk dokter dan/atau psikolog sebagai konselor. Secara garis besar konseling terdiri dari dua macam yaitu konseling aktif dimana dokter dan atau psikolog yang ditunjuk oleh PI, atas inisiatif sendiri mendatangi pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih dan konseling pasif dimana pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih atas inisiatif sendiri atau

atas instruksi PI mendatangi dokter dan/atau psikolog yang ditunjuk oleh PI untuk melakukan konsultasi [5].

Terdapat 4(empat) tahap pelaksanaan konseling untuk pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, yaitu [5]:

1. Tahap membangun hubungan.  
Demi kelancaran pelaksanaan konseling maka pada tahap awal konselor (dokter dan/atau psikolog) diharapkan mampu membangun hubungan yang baik dan harmonis dengan pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih.
2. Tahap identifikasi masalah dan eksplorasi.  
Pekerja radiasi diharapkan bersikap terbuka dan jujur kepada konselor (dokter dan/atau psikolog) menjelaskan mengenai dirinya sampai menerima dosis yang melebihi batas. Adanya keterbukaan akan mempermudah dokter dan/atau psikolog melakukan identifikasi masalah dan melakukan eksplorasi terhadap masalah tersebut. Dokter sebagai konselor menampung keluhan medis yang dialami termasuk keluhan kecemasan atas akan terjadinya dampak medis yang mungkin akan dialami pekerja radiasi dan memberikan alternatif solusi yang mampu mengatasi masalah medis yang terjadi. Psikolog sebagai konselor menampung keluhan kecemasan yang dialami oleh pekerja radiasi dan memberikan alternatif solusi yang mampu memberikan ketenangan dan semangat hidup.
3. Tahap perencanaan pemecahan masalah.  
Dengan telah diperolehnya identifikasi masalah dan eksplorasinya, maka pihak dokter dan/atau psikolog dapat membuat perencanaan pemecahan masalah yang dihadapi oleh pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih baik yang terkait masalah medis maupun psikologis. Setiap jenis masalah dibuat rencana pemecahannya serta alternatif solusi yang dapat diterapkan.
4. Tahap aplikasi solusi dan pengakhiran.  
Berdasarkan keterbukaan dan kejujuran yang diberikan oleh pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, maka pihak dokter dan/atau psikolog dapat mengaplikasikan beberapa alternatif solusi dan masa pengakhirannya bagi setiap masalah yang dihadapi oleh pekerja radiasi tersebut.

#### **Dokumentasi dan Pelaporan Hasil Konseling**

Hasil pelaksanaan konseling pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih oleh konselor (dokter dan/atau psikolog) disampaikan kepada pihak PI dan didokumentasikan dengan baik dan benar sesuai dengan ketentuan proteksi radiasi dalam jangka waktu 30 tahun sebagaimana ditetapkan pada Pasal 8 ayat 4 Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007.

Laporan hasil pelaksanaan konseling tersebut oleh PI wajib disampaikan kepada Kepala BAPETEN sebagai bagian dari laporan kejadian penerimaan dosis berlebih dan upaya tindak lanjut terhadap pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih sebagaimana ditetapkan pada Pasal 18, 19 dan 21 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013.

#### **PEMERIKSAAN KESEHATAN DAN TINDAKLANJUT**

Kewajiban lain yang harus dilakukan oleh PI jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, adalah melakukan pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut yang dapat dilaksanakan melalui pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus sebagaimana ditetapkan pada Pasal 5-10 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 dan tindakan medis yang disesuaikan dengan efek deterministik yang ditimbulkan oleh dosis berlebih tersebut.

Pemeriksaan kesehatan umum yang harus dijalani oleh pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih meliputi anamnesis, riwayat penyakit dan keluarga, pemeriksaan fisik dan pemeriksaan laboratorium. Pemeriksaan kesehatan khusus meliputi pemeriksaan sel darah lengkap, pemeriksaan limfosit absolut, pemeriksaan biomarker sitogenetik seperti aberasi kromosom dan/atau pemeriksaan sperma. Untuk pemeriksaan kesehatan khusus ini secara lengkap tercantum pada Lampiran II Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 [2].

Pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih dapat bekerja kembali apabila telah dinyatakan sehat pada sertifikat/hasil pemeriksaan kesehatan yang mencakup resume pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus.

#### **IV. KESIMPULAN**

Pada institusi yang melakukan kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir dengan potensi bahaya radiologi tinggi terdapat kemungkinan adanya pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih. Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih, maka PI berkewajiban melakukan penatalaksanaan kesehatan yang meliputi kajian penerimaan dosis, konseling, pemeriksaan kesehatan dan tindak lanjut. Dari hasil pelaksanaan penatalaksanaan kesehatan, pekerja radiasi yang menerima dosis berlebih diizinkan untuk bekerja kembali setelah mendapatkan pemeriksaan kesehatan umum dan pemeriksaan kesehatan khusus, dan dinyatakan sehat dalam sertifikat/hasil pemeriksaan kesehatan tersebut.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, 2013.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, "Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2010 tentang Pemantauan Kesehatan Untuk Pekerja Radiasi", Jakarta, 2010.
- [3] Medhi Physics, Health Physics, USA, 1983.
- [4] Sekretariat Negara, Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta, 2007.
- [5] Palmer, Stephen., McMahon, Gladeana, "Handbook of counseling. Routledge", London and Newyork, 1989.



## KOPERASI SEBAGAI PELAKSANA DI DALAM UNDANG-UNDANG NOMOR 10 TAHUN 1997

Dewi Prima Meiliasari<sup>1</sup>, Dwi Cahyadi<sup>2</sup>, Dwihardjo Rushartono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN, Jakarta

<sup>2</sup>Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN, Jakarta

e-mail: [d.meiliasari@bapeten.go.id](mailto:d.meiliasari@bapeten.go.id)

### ABSTRAK

Koperasi menjadi salah satu bahan diskusi dalam perubahan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 (UU Ketenaganukliran), yaitu perihal kapabilitas Koperasi dalam bekerjasama dengan badan pelaksana (BATAN) pada kegiatan pemanfaatan ketenaganukliran. Peranan koperasi dalam perkembangan teknologi aplikasi nuklir berikut kesanggupannya dibahas disini, yang pada akhirnya dapat menjadi pertimbangan dalam perubahan UU Ketenaganukliran. Seperti yang terdapat di Amerika Serikat, koperasi menjadi pihak yang dapat bekerjasama dalam utilisasi tenaga listrik di pedesaan dan tentunya dapat diperkuat dengan dukungan modal dari Pemerintah, atau koperasi dapat menjadi salah satu pemegang saham dari kegiatan tersebut. Koperasi merupakan salah satu kekuatan ekonomi yang mendorong tumbuhnya perekonomian nasional, dan kesejahteraan masyarakat. Koperasi diharapkan dapat menempati tempat dan posisi yang penting dalam tata perekonomian nasional Indonesia sehingga peranannya dalam perubahan Undang undang ketenaganukliran tetap harus mendapatkan perhatian.

**Kata kunci:** Koperasi, UU Ketenaganukliran, Perubahan UU Ketenaganukliran.

### ABSTRACT

*Cooperative become one of discussion material in amendment of Law Number 10 Year 1997 (Nuclear Energy Act), that is concerning capability of Cooperative in cooperation with implementing agency (BATAN) on nuclear utilization activity. The role of cooperatives in the development of nuclear technology applications and their abilities are discussed here, which in turn can be considered in the change of the nuclear power law. As found in the United States, the cooperative is a party that can cooperate in rural power utilization and can certainly be strengthened with capital support from the Government, or a cooperative can become one of the shareholders of the activity. Cooperatives are one of the economic forces that encourage the growth of the national economy, and the welfare of society. Cooperatives are expected to occupy a place and an important position in the national economic order of Indonesia so that its role in Amendment to the Law of nuclear power should still get attention.*

**Keywords:** Cooperative, Nuclear Energy Act, Ammandement of Nuclear Energy Act

## I. PENDAHULUAN

Energi nuklir di Indonesia secara luas digunakan pada pertanian, industri, kedokteran, biologi dan hidrologi. Pemanfaatan energi nuklir telah dibagi dalam sejumlah bidang, misalnya, pertambangan dan pengolahan bahan baku nuklir; produksi uranium yang diperkaya fabrikasi bahan bakar nuklir; desain, serta konstruksi dan pengoperasian reaktor nuklir. [1]

Alternatif lain untuk pemanfaatan energi nuklir adalah kemungkinan pengembangan sumber daya energi terbarukan. Namun demikian, sejumlah kesulitan teknologi dan keuangan membuat penggunaan energi alternatif ini menjadi sulit diwujudkan untuk sebagian besar dunia dalam waktu dekat. Pada saat yang sama, energi nuklir telah terus berkembang. Per tanggal 7 November 2015, terdapat total 440 reaktor nuklir yang beroperasi, 2 reaktor dalam proses penutupan jangka panjang dan 66 dalam konstruksi.[5]

Dalam hal pemanfaatan energi nuklir ini memang perlu banyak pertimbangan baik sisi teknis maupun non teknis. Sebuah fakta yang tidak

terbantahkan bahwa energi nuklir dan teknologinya memiliki manfaat yang signifikan dalam berbagai bidang kegiatan manusia. Namun, perlu diingat juga bahwa energi nuklir menimbulkan risiko khusus untuk kesehatan dan keselamatan orang dan lingkungan yang harus dikelola dengan hati-hati. Sebagai konsekuensinya, pemanfaatan energi nuklir perlu memperhatikan beberapa konsep penting yaitu: keselamatan (safety), keamanan (security), pengamanan (safeguards), pertanggungjawaban (liability) dan kesejahteraan (prosperity). [1]

Oleh karena itu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai pengawas pemanfaatan energi nuklir yang salah satu tugasnya adalah membuat peraturan harus jeli dalam melaksanakan tugasnya.

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran), sejak diberlakukan pada tahun 1997 sampai saat ini, belum pernah dilakukan perubahan ataupun penyesuaian terhadap UU Ketenaganukliran. Padahal, selama hampir 20 tahun, telah terjadi berbagai perubahan dan

perkembangan terkait ketenaganukliran baik secara internasional maupun nasional. Oleh karena itu, sudah selanjutnya mulai dilakukan perubahan atau revisi terhadap UU Ketenaganukliran

Di dalam UU Ketenaganukliran penyebutan “koperasi” di beberapa pasal menjadi bahan diskusi untuk perubahan UU Ketenaganukliran. Di dalam UU Ketenaganukliran koperasi dinilai mampu melakukan kerjasama dengan badan pelaksana dalam hal kegiatan Penyelidikan umum, eksplorasi, dan eksploitasi bahan galian nuklir (Pasal 9 ayat (2) UU Ketenaganukliran), Produksi dan/atau pengadaan bahan baku untuk pembuatan bahan bakar nuklir (Pasal 10 ayat (2) UU Ketenaganukliran), dan Pengelolaan limbah radioaktif (Pasal 23 ayat (2) UU Ketenaganukliran). Koperasi juga disebut dalam UU Ketenaganukliran sebagai pelaksana kegiatan Produksi bahan bakar nuklir komersial (Pasal 11 ayat (2) UU Ketenaganukliran), Produksi radioisotop komersial (Pasal 12 ayat (2) UU Ketenaganukliran), Pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning reaktor nuklir komersial (Pasal 13 ayat (3) UU Ketenaganukliran). Koperasi sebagaimana disebutkan dalam pasal di atas tentunya sudah melalui beberapa pertimbangan dan kajian secara mendalam.

Penulisan ini bertujuan untuk melihat peran koperasi dalam perkembangan teknologi aplikasi nuklir untuk dapat dipertimbangkan dalam perubahan UU Ketenaganukliran.

## II. LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Di dalam UU Ketenaganukliran koperasi dinilai mampu melakukan kerjasama dengan badan pelaksana dalam sebagaimana tercantum dalam beberapa pasal di UU 10/1997.

Seperti disebutkan dalam pasal UU Ketenaganukliran di atas, penulis mencoba mengulas peran koperasi dalam perkembangan teknologi aplikasi nuklir dan kesanggupan koperasi dari berbagai sumber atau referensi utama, yaitu UU Ketenaganukliran dan Undang-Undang RI No. 25 Tahun 1992 sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2012 tentang Perkoperasian (UU Perkoperasian), dan referensi tambahan, yaitu studi pustaka dengan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan law in books (aturan-aturan tertulis).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Koperasi merupakan salah satu kekuatan ekonomi yang mendorong tumbuhnya perekonomian nasional. Menurut Undang-Undang Nomor 25 Tahun 1992 sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 17 tahun 2012 tentang Perkoperasian (UU Perkoperasian), “koperasi adalah badan hukum yang didirikan oleh orang perseorangan atau badan hukum Koperasi, dengan pemisahan kekayaan para anggotanya sebagai modal untuk menjalankan usaha, yang memenuhi aspirasi dan kebutuhan bersama di bidang ekonomi, sosial, dan budaya sesuai dengan nilai dan prinsip Koperasi”. Dalam UU Perkoperasian, Koperasi dibagi menjadi 2 (dua) yaitu Koperasi Primer adalah Koperasi yang didirikan oleh dan beranggotakan orang perseorangan, dan Koperasi Sekunder adalah Koperasi yang didirikan oleh dan beranggotakan badan hukum

Koperasi. Koperasi sekunder inilah yang dapat menjadi kandidat sebagaimana dimaksud dalam pasal yang telah disebutkan di atas.

Dalam tata perekonomian nasional Indonesia, koperasi diharapkan dapat menempati tempat dan posisi yang penting. Koperasi Indonesia memiliki dasar konstitusional yang kuat, yaitu UUD 1945 pasal 33 ayat 1 yang berbunyi, “Perekonomian disusun sebagai usaha bersama berdasarkan atas asas kekeluargaan”.

Koperasi merupakan organisasi ekonomi yang berasaskan kekeluargaan dengan mengutamakan rasa persaudaraan, solidaritas dan persaudaraan diantara para anggota. Koperasi hadir ditengah-tengah masyarakat dengan mengembangkan tugas dan tujuan untuk mewujudkan kesejahteraan anggota pada khususnya dan masyarakat pada umumnya.

Koperasi mempunyai peranan yang cukup besar dalam menyusun usaha bersama dari orang-orang yang mempunyai kemampuan ekonomi terbatas. Dalam rangka usaha untuk memajukan kedudukan rakyat yang memiliki kemampuan ekonomi terbatas dimana sebagai badan usaha rakyat, koperasi perlu membangun diri dan meningkatkan diri, serta mampu bersaing dengan badan hukum lain berdasarkan prinsip koperasi, sehingga diharapkan, koperasi sebagai badan hukum, mampu berperan sebagai soko guru perekonomian nasional yang berfungsi memperkokoh perekonomian rakyat, dan membangun tatanan perekonomian nasional dalam rangka mewujudkan masyarakat adil dan makmur.

Di dalam UU Ketenaganukliran koperasi dinilai mampu melakukan kerjasama dengan badan pelaksana dalam sebagaimana tercantum dalam beberapa pasal di UU 10/1997.

Dalam melakukan kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup sebagaimana dijelaskan dalam Pasal 16 UU Ketenaganukliran, karena itu Setiap pemanfaatan tenaga nuklir, Pembangunan dan pengoperasian reaktor nuklir dan instalasi nuklir lainnya serta dekomisioning reaktor nuklir wajib memiliki izin (Pasal 17 UU Ketenaganukliran).

Dalam hal ini koperasi yang disebutkan dalam UU Ketenaganukliran wajib memiliki izin dalam pelaksanaan kegiatannya.

### Pengertian Koperasi [2]

Dalam Undang-Undang RI No. 25 Tahun 1992 sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2012 tentang Perkoperasian (UU Perkoperasian), Koperasi adalah badan hukum yang didirikan oleh orang perseorangan atau badan hukum Koperasi, dengan pemisahan kekayaan para anggotanya sebagai modal untuk menjalankan usaha, yang memenuhi aspirasi dan kebutuhan bersama di bidang ekonomi, sosial, dan budaya sesuai dengan nilai dan prinsip Koperasi.

Dari pandangan Hukum umum dalam buku *General Principle of Law and State*, Hans Kelsen, bahwa yang dimaksud sebagai Subjek Hukum ialah manusia dan badan hukum. Hal ini tertuang dalam berbagai

Undang-Undang termasuk Pasal 1653 hingga 1665 KUH Perdata. Yang unik adalah ketika badan hukum yang tidak memiliki fisik seperti manusia namun dianggap (seolah-olah) sebagai seorang manusia. Sedangkan dalam Pasal 1653 dapat diketahui bahwa jenis perkumpulan (badan hukum), berdasarkan pembentukannya dapat dikategorikan sebagai badan hukum yang didirikan oleh pemerintah, yang diakui keberadaannya, yang diperbolehkan atau diizinkan keberadaannya, dan yang didirikan dengan maksud tertentu oleh siapa saja. Maka koperasi termasuk dalam kategori badan hukum yang didirikan dengan maksud tertentu yang termaktub dalam Anggaran Dasar. Dengan menjadinya koperasi sebagai badan hukum, maka koperasi harus terpenuhi syarat sahnya badan hukum yakni cakap untuk memiliki kekayaan yang terpisah dengan anggotanya, serta semua yang dilakukan oleh pengurus atas nama badan hukum koperasi merupakan tanggung jawab dari badan hukum koperasi tersebut. Untuk masalah kapansyarat-syarat serta ketentuan mengenai perolehan status badan hukum sangat kasuistis terikat pada ketentuan hukum prosedur yang berlaku.

Seperti disebutkan di atas dalam UU Perkoperasian bahwa koperasi merupakan badan hukum. Koperasi sebagai suatu badan hukum pasti memiliki hubungan hukum dengan subjek hukum lainnya seperti pengurus, anggota, maupun pihak ketiga di luar koperasi. Maka setiap hubungan hukum yang terjadi antara para pihak harus mengacu kepada peraturan yang berlaku sebagaimana diatur dalam Bab ketiga tentang perikatan pada KUH Perdata. Jika akta pendirian yang merupakan perikatan tersebut tidak mengikuti ketentuan syarat sah perjanjian sebagaimana Pasal 1320 – 1337 KUH Perdata maka koperasi tersebut pada saat pendiriannya tidak memiliki dasar hukum sebagai badan hukum. Status koperasi sebagai sebuah badan hukum adalah:

- a. didirikan dengan akta pendirian;
- b. disahkan oleh Pemerintah;
- c. diumumkan dalam Berita Negara; dan
- d. dibentuk berdasarkan Undang-Undang.

Dalam UU Perkoperasian disebutkan bahwa:

Tujuan, Pendirian, Rencana Usaha, Bentuk, dan Jenis Koperasi[2]

Tujuan mendirikan koperasi adalah meningkatkan kesejahteraan Anggota pada khususnya dan masyarakat pada umumnya, sekaligus sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari tatanan perekonomian nasional yang demokratis dan berkeadilan. Letak kekhususan koperasi adalah kesejahteraan para anggotanya baik sebagai pemilik (owner) ataupun sebagai pengguna jasa koperasi (user) yang menjadi tujuan utama. Walaupun UU Perkoperasian memberikan kebebasan mengenai jenis-jenis koperasi, namun dalam penerapannya jenis-jenis ini sangatlah beraneka-ragam. Sedangkan para pendiri koperasi haruslah memikirkan sebuah rencana usaha sebelum mendirikan koperasi mengenai setidak-tidaknya bentuk koperasi hingga jenis koperasi yang akan didirikan. Bentuk koperasi yang dikenal umum ialah koperasi

primer dan sekunder, sedangkan jenis koperasi yang ada dalam praktek misalnya Koperasi konsumen, Koperasi produsen, Koperasi jasa, dan Koperasi Simpan Pinjam. Koperasi primer merupakan koperasi yang didirikan oleh dan beranggotakan orang perseorangan dan koperasi sekunder merupakan koperasi yang didirikan oleh dan beranggotakan badan hukum Koperasi.

Syarat Pendirian Koperasi[2]

Syarat utama pendirian Koperasi Primer didirikan oleh paling sedikit 20 (dua puluh) orang perseorangan dengan memisahkan sebagian kekayaan pendiri atau Anggota sebagai modal awal Koperasi, untuk Koperasi Sekunder didirikan oleh paling sedikit 3 (tiga) Koperasi. Setelah anggota menentukan tujuan perikatan secara hukum, serta anggaran yang setidak-tidaknya harus memuat daftar nama pendiri, nama dan tempat kedudukan koperasi, maksud serta tujuan serta bidang usaha, keanggotaan, Rapat Anggota, pengelolaan, permodalan, jangka waktu berdirinya, pembagian sisa hasil usaha, serta sanksi.

Modal Dasar Pendirian[2]

Modal koperasi bisa didapatkan dari Setoran Pokok dan Sertifikat Modal Koperasi sebagai modal awal, selain itu juga berasal dari Hibah, Modal Penyertaan, modal pinjaman yang berasal dari Anggota, Koperasi lainnya dan/atau Anggotanya, bank dan lembaga keuangan lainnya, penerbitan obligasi dan surat hutang lainnya, dan/atau Pemerintah dan Pemerintah Daerah, dan/atau sumber lain yang sah yang tidak bertentangan dengan Anggaran Dasar dan/atau ketentuan peraturan perundang-undangan.

Nama dan Domisili Koperasi[2]

Nama koperasi dan Alamat koperasi sangatlah penting dalam menentukan mengidentifikasi suatu koperasi sebagai badan hukum. Hal tersebut hendaknya dimuat dalam anggaran dasar koperasi. Dalam semua surat menyurat, pengumuman yang diterbitkan oleh Koperasi, barang cetakan, dan akta, dalam hal Koperasi menjadi pihak harus disebutkan nama dan alamat lengkap Koperasi. Untuk menghindari kesamaan nama yang mungkin saja terjadi maka hendaknya pendiri untuk mengecek kepada lembaga otoritas koperasi agar tidak bertentangan dengan Hak Kekayaan Intelektual, serta kesusilaan dan ketertiban umum dan termasuk juga ketentuan peraturan perundang-undangan.

Jangka Waktu Berdirinya Koperasi[2]

Jangka waktu berdirinya koperasi dapat ditetapkan pada terbatas dalam jangka waktu tertentu atau untuk jangka waktu yang tidak terbatas, sesuai dengan tujuan dan kehendak para pendiri. Penentuan batas waktu ini terkait dengan proses dan tata cara pembubaran koperasi yang ditentukan pada saat jangka waktu tersebut dimuat pada anggaran dasar.

Akta Pendirian Koperasi[2]

Pada Akta Pendirian atau Anggaran Dasar, harus dicantumkan nama-nama anggota atau orang-orang yang dipercaya untuk duduk dalam organ manajemen koperasi, seperti pengurus dan pengawas

yang bersedia untuk menjalankan koperasi. Akta Pendirian Koperasi dibuat oleh Notaris yang terdaftar pada Kementerian yang menyelenggarakan urusan Pemerintahan di bidang Koperasi, dalam hal di suatu kecamatan tidak terdapat Notaris maka Akta Pendirian Koperasi dapat dibuat oleh Camat yang telah disahkan sebagai Pejabat Pembuat Akta Koperasi oleh Menteri.

#### Perolehan Status Badan Hukum[2]

Perolehan status badan hukum dimulai semenjak sebuah koperasi mendapatkan pengesahan atas akta pendirian atau anggaran dasar di hadapan notaris. Sedangkan pengesahan yang dilakukan di otoritas koperasi sebenarnya hanya bertujuan sebagai registrasi atau pencatatan di lembaga pemerintahan dan pengumuman dalam Berita Negara RI untuk memudahkan kantor urusan koperasi melakukan pembinaan dan pengawasan terhadap koperasi-koperasi yang didirikan di Indonesia. Dengan mendapatkan status badan hukum berarti sebuah badan usaha koperasi menjadi subjek hukum yang memiliki hak dan kewajiban. Sehingga, terhadap pihak ketiga dapat dengan jelas dan tegas mengetahui siapa yang dapat diminta bertanggung jawab atas jalannya usaha badan hukum koperasi tersebut. Dalam kedudukan tersebut apabila di kemudian hari misalnya ternyata koperasi melakukan perbuatan melawan hukum (Pasal 1365 KUH Perdata) terhadap pihak ketiga misalnya, akan dapat ditentukan siapa yang bertanggung jawab secara hukum terhadap tindakan melawan hukum tersebut; apakah badan hukum koperasi, manajer, atau para anggotanya. Pertanggungjawaban tersebut secara kasuistik dilihat dari sejauh mana tingkat keterlibatan kesalahan setiap anggota maupun pengurus sebagai organ dwitunggal dalam koperasi. Sedangkan anggota koperasi hanya akan bertanggung jawab terhadap kerugian yang diderita oleh koperasi sebatas jumlah simpanan yang mereka setorkan.

Dengan menggunakan logika, maka ketika koperasi sudah berupa badan hukum, maka secara tegas harus diatur pula tentang hal-hal pembubaran badan hukum koperasi. Dalam hal terjadi pembubaran Koperasi tetapi Koperasi tidak mampu melaksanakan kewajiban yang harus dibayar, Anggota hanya menanggung sebatas Setoran Pokok, Sertifikat Modal Koperasi, dan/atau Modal Penyertaan yang dimiliki. Dalam hal anggota koperasi yang memberikan pinjaman pribadi pada koperasi, ia mempunyai posisi yang sama dengan para kreditur lain dalam hal menuntut pelunasan piutang kepada badan hukum koperasi.

Anggaran Dasar dan Anggaran Rumah Tangga Merupakan Aturan Main Dalam Sebuah Koperasi[2]  
Pada hakikatnya, anggaran dasar koperasi merupakan kumpulan ketentuan dan peraturan yang dibuat oleh para pendiri koperasi atas dasar kesepakatan bersama, yang berlaku sebagai Undang-Undang (by laws) terhadap anggota koperasi. Maka dapatlah dikatakan bahwa anggaran dasar tersebut berlaku sebagai dokumen persetujuan, kontrak, ataupun perjanjian antar pendiri, karena anggaran dasar sebagai perjanjian haruslah ditaati dan berlaku sebagai Undang-Undang yang mengikat bagi pembuatnya (Pasal 1338 KUH

Perdata) sebagai kekuatan derivative dari hukum perikatan.

#### Perubahan Anggaran Dasar Koperasi[2]

Koperasi telah menjadi badan hukum maka yang melakukan perubahan ialah rapat anggota atau sesuai dengan anggaran dasar sebelumnya. Perubahan anggaran dasar setelah koperasi berbentuk badan hukum yang sangat tergantung pada seberapa mendasarnya perubahan (misalnya perubahan nama, tempat kedudukan, wilayah keanggotaan, tujuan, kegiatan usaha, dan/atau jangka waktu berdirinya Koperasi apabila Anggaran Dasar menetapkan jangka waktu tertentu.) maka perubahan yang dihasilkan harus mendapat persetujuan dari Menteri. Namun jika perubahan selain disebutkan di atas maka cukup diberitahukan kepada Menteri dalam jangka waktu paling lambat 30 (tiga puluh) hari terhitung sejak Akta Perubahan Anggaran Dasar dibuat.

Koperasi seperti disebutkan dalam UU Perkoperasian sudah sangat jelas mengatur dari akta pendirian koperasi, perolehan status badan hukum, modal dasar pendirian sampai mengatur mengenai perubahan anggaran dasar yang harus mendapat persetujuan menteri terlebih dahulu.

Modal dasar pendirian sebuah koperasi dapat diperoleh salah satunya dari hibah, bank dan lembaga keuangan lainnya, dan/atau Pemerintah dan Pemerintah Daerah. Modal dari Pemerintah ini yang menjadi bantuan bagi koperasi di Amerika Serikat, dimana koperasi listrik dapat memberikan pelayanan listrik untuk pedesaan.

#### Koperasi di Amerika Serikat[6]

Di negara Amerika Serikat peran koperasi dalam pembangkit listrik sangat besar, koperasi membangun infrastruktur dan meningkatkan pelayanan listrik pedesaan. Pengatur Listrik Pedesaan (disebut Rural Electrification Administration-REA) diciptakan pada tahun 1935, dan Kongres meloloskan Undang-Undang Listrik Pedesaan setahun kemudian. Pada tahun 1937, REA merancang Undang-Undang Electric Koperasi Perusahaan, model hukum negara untuk pembentukan dan pengoperasian koperasi listrik pedesaan. Koperasi listrik pedesaan merupakan utilitas milik konsumen yang didirikan untuk menyediakan listrik yang dapat diandalkan dan terjangkau oleh daya beli listrik dengan harga grosir dan memberikan langsung ke konsumen. Koperasi distribusi ini terutama terletak di daerah pedesaan di mana laba atas investasi infrastruktur yang mahal tidak cukup tinggi untuk menarik utilitas milik investor. Meskipun koperasi listrik tidak penyedia dominan listrik nasional, mereka adalah penyedia utama di sebagian besar daerah pedesaan negara itu.

Sejak komitmen awal pemerintah Federal untuk kepemilikan koperasi, koperasi listrik pedesaan telah memiliki dukungan pemerintah yang kuat melalui program pinjaman, dan melalui program preferensi power supply. Pinjaman dan bantuan teknis yang diberikan momentum utama untuk pembentukan koperasi pedesaan listrik.

Koperasi listrik didirikan berdasarkan undang-undang negara. Mereka dianggap perusahaan nirlaba dan diberikan status bebas pajak federal, pendapatan tahunan mereka berasal dari anggota.

Setiap koperasi listrik pelanggan pedesaan adalah anggota-pemilik, dan keanggotaan adalah kebutuhan semua pelanggan. Karena sebagian besar beroperasi sebagai monopoli, konsumen harus menjadi anggota koperasi jika mereka ingin membeli listrik. Anggota diharuskan untuk membeli semua tenaga listrik untuk lokasi yang ditentukan dari koperasi. Namun, dalam beberapa kasus juga menjual listrik ke non-anggota. Anggota memilih dewan direksi dari kalangan keanggotaan atas dasar satu-anggota/satu suara. [6]

Dalam regulasi yang dikeluarkan oleh Badan Pengawas Amerika Serikat (US-NRC) juga disebutkan bahwa koperasi dapat termasuk sebagai satu entitas yang memproduksi atau mendistribusikan listrik[7]. Oleh US-NRC peran besarnya telah diakui dalam perannya sebagai suatu komponen penting dalam pendistribusian listrik.

Seperti koperasi lainnya, mereka berusaha untuk beroperasi pada biaya rendah. Pengumpulan modal untuk mendukung operasi mereka, karena anggota adalah pemilik koperasi, ketika koperasi memiliki laba bersih (yaitu, pendapatan melebihi pengeluaran), atau margin mereka dikembalikan ke anggota pemilik berdasarkan patronase.

Peranan koperasi di Amerika Serikat dapat menjadi gambaran ke depannya bagi koperasi Indonesia, bahwa koperasi di Amerika Serikat dapat berperan pesat terhadap pelayanan listrik walaupun hanya lingkup kecil yaitu pedesaan namun koperasi dirasa mampu berperan itu, terlebih dengan dukungan dari pemerintah yang kuat, termasuk dukungan dalam segi pendanaan.

Dalam kegiatan yang dilakukan koperasi seperti disebut dalam UU Ketenaganukliran, tentunya koperasi yang berbadan hukum yang sudah melampaui persyaratan izin (administratif, teknis, dan finansial) sebagaimana diatur dalam Pasal 6 ayat (2) Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, persyaratan yang tidak mudah itu harus dipenuhi oleh koperasi. [3]

Pada saat ini di Indonesia Koperasi yang berbadan hukum yang dirasa sanggup memenuhi persyaratan tersebut di atas belum ada, namun untuk kedepannya bukanlah tidak mungkin ada Koperasi yang sanggup memenuhi syarat tersebut. Koperasi adalah badan hukum yang berlandaskan Pancasila dan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 yang bertujuan meningkatkan kesejahteraan Anggota pada khususnya dan masyarakat pada umumnya, sekaligus sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari tatanan perekonomian nasional yang demokratis dan berkeadilan dengan berlandaskan pada UUD 1945 pasal 33 ayat 1 yang berbunyi, "Perekonomian disusun sebagai usaha bersama berdasarkan atas asas kekeluargaan", dan koperasi dapat berperan dalam tata perekonomian nasional Indonesia, menempati tempat dan posisi yang penting. Koperasi Indonesia memiliki dasar konstitusional yang kuat

#### IV. KESIMPULAN

Koperasi sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari tatanan perekonomian nasional yang demokratis dan berkeadilan dalam tata perekonomian nasional Indonesia, serta memiliki dasar konstitusional yang kuat, yaitu UUD 1945 Pasal 33 ayat 1 koperasi diharapkan dapat menempati tempat dan posisi yang penting bagi badan pelaksana pemanfaatan ketenaganukliran.

Koperasi dapat di pertimbangkan sebagai pihak yang dapat bekerjasama dengan badan pelaksana (BATAN) dan salah satunya sebagai badan pelaksana Pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning Reaktor Daya komersial atau Reaktor Non daya komersial dengan dukungan modal dari Pemerintah seperti terdapat di Amerika Serikat, atau koperasi merupakan salah satu pemegang saham dari kegiatan tersebut karena mengingat struktur permodalan yang dibutuhkan begitu besarnya, apalagi untuk pembangunan reaktor nuklir komersial yang berupa pembangkit listrik tenaga nuklir seperti tercantum dalam Pasal 13 ayat (4) UU Ketenaganukliran.

Walaupun pada saat ini di Indonesia koperasi yang berbadan hukum yang sanggup memenuhi persyaratan, seperti memiliki badan hukum yang sudah memenuhi persyaratan izin (administratif, teknis, dan finansial) sebagaimana diatur dalam Pasal 6 ayat (2) Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir belum ada, namun untuk kedepannya bukanlah tidak mungkin ada, sehingga peluangnya untuk masuk dalam perubahan UU Ketenaganukliran dapat tetap dimasukkan mengingat manfaatnya yang luas yang akan diterima bagi kesejahteraan masyarakat Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 10 tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [2] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 17 tahun 2012 Tentang Pengoperasian*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 2 tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*, Setneg, Jakarta, 2014;
- [4] Anguel Anastassov, "The Sovereign Right to Peaceful Use of Nuclear Energy and International Environmental Law", dalam Jonathan L. Black-Branck & Dieter Fleck (eds.) *Nuclear Non-Proliferation in International Law* (Hague: TMC Asser Press, 2014) 160, hal. 162.;
- [5] IAEA, "The Database on Nuclear Power Reactors", <<https://www.iaea.org/pris/>>, diakses 23 Juni 2015.
- [6] <http://reic.uwcc.wisc.edu/electric/>, diakses 10 Juni 2016.
- [7] <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part050/part050-0002.html> diakses 6 Juli 2017.



## PENGEMBANGAN PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR MENGENAI LABORATORIUM ANALISIS RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN

**Hermawan Puji Yuwana**

*Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif*

e-mail: h.puji@bapeten.go.id

### ABSTRAK

Sebagaimana diatur dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin. PP Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir membagi kegiatan pemanfaatan menjadi 3 kelompok yaitu kelompok A, B dan C, salah satunya adalah izin penyimpanan zat radioaktif. Izin penyimpanan zat radioaktif wajib dilakukan oleh penghasil TENORM ketika tidak berhasil melakukan intervensi melalui tindakan remedial hingga mencapai nilai di bawah tingkat intervensi. Ketentuan intervensi dijelaskan dalam PP Nomor 33 Tahun 2007 dan diperjelas dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*. Pemegang izin zat radioaktif harus melakukan analisis dalam rangka untuk mengetahui kandungan radioaktivitas dalam TENORM. Analisis kandungan radioaktivitas harus dilakukan oleh laboratorium yang terakreditasi. Dalam pengembangan peraturan ini, laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) atau lembaga akreditasi negara lain yang telah memiliki perjanjian saling pengakuan (*Mutual Recognition Arrangement (MRA)*) dengan KAN. Laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang sudah mendapatkan akreditasi harus mendapatkan surat tanda registrasi dari Kepala BAPETEN dengan mengajukan permohonan kepada Kepala BAPETEN. Masa berlaku surat tanda registrasi sesuai dengan masa berlaku dari akreditasi. Dalam hal tidak ada atau belum terdapat laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang terakreditasi maka harus mendapatkan penunjukan dari Kepala BAPETEN. Persyaratan penunjukan laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan paling kurang harus mencakup persyaratan administrasi, persyaratan manajemen, dan persyaratan teknis.

**Kata kunci:** intervensi, laboratorium, akreditasi, registrasi, penunjukan.

### ABSTRACT

*As stipulated in the Act Nr. 10 Year 1997 on Nuclear Energy that any utilization of nuclear energy shall be subjected for licensing. Government Regulation Nr. 29 Year 2008 on Licensing of the Utilization of Ionizing Radiation Sources and Nuclear Materials is dividing the utilization activities into 3 groups: group A, B and C, one of which is license for radioactive material storage. A license for radioactive material storage is required by the TENORM producer when the TENORM producers failed to intervene through remedial action until it reaches certain value below the intervention level. The provisions of the intervention are described in Government Regulation Nr. 33 Year 2007 and further regulate in BAPETEN Chairman Regulation Nr. 9 Year 2009 on Intervention Exposure from Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials. The licensee shall conduct analysis in order to know the radioactivity content in TENORM. Radioactivity analysis should be performed by an accredited laboratory. In the development of this regulation, the laboratory of environmental radioactivity analysis must be accredited by the National Accreditation Committee (KAN) or other state accreditation agencies that posses Mutual Recognition Arrangement (MRA) agreements with KAN. An accredited laboratory must obtain a registration letter from the BAPETEN Chairman by submitting an application to the BAPETEN Chairman. The validity period of the registration letter in accordance with the validity period of the accreditation certificate. In case an accredited laboratory of environmental radioactivity analysis is not available, must be officially appointed by BAPETEN Chairman to perform radioactivity analysis. The requirements to be appointed as the laboratory for environmental radioactivity analysis should at least include administrative, management, and technical requirements.*

**Keywords:** intervention, laboratory, accreditation, registration, appointed laboratory.

### I. PENDAHULUAN

Badan Pengawas melaksanakan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir melalui tiga pilar pengawasan, yaitu peraturan, perizinan, dan inspeksi. Pemanfaatan adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan,

penambahan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengolahan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat. Berdasarkan definisi tersebut, pemanfaatan sumber radiasi pengion merupakan bagian dalam pemanfaatan tenaga nuklir

diantaranya meliputi penggunaan zat radioaktif dan pembangkit radiasi pengion dalam bidang medik, industri, penelitian dan pengembangan [1].

Kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu kelompok A, kelompok B, dan kelompok C. Salah satu yang masuk ke dalam kelompok B adalah kegiatan penyimpanan zat radioaktif. Penyimpanan zat radioaktif yang masuk dimaksud adalah bahan lain yang mengandung radioaktif, yang merupakan hasil samping antara lain dari kegiatan produksi, penambangan, atau rekayasa industri [2]. Hasil samping inilah yang kemudian diartikan sebagai *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM).

TENORM adalah zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan paparan potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal [3] [4]. Kegiatan yang dimungkinkan menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM dapat ditemui dalam di bidang industri dan energi sumber daya mineral seperti eksploitasi minyak dan gas bumi, PLTU (batubara), proses sandblasting, peleburan logam, serta penambangan, pengolahan, dan pemurnian logam.

PP Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*, menjelaskan bahwa intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM harus dilakukan oleh penghasil TENORM berdasarkan pada tingkat intervensi. Tingkat intervensi adalah tingkat dosis yang dapat dihindari dengan melakukan tindakan protektif atau remedial untuk situasi paparan kronik atau paparan darurat. Pelaksanaan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM dilakukan dengan tindakan remedial. Dalam hal tindakan remedial yang dilakukan tidak mencapai nilai di bawah tingkat intervensi maka penghasil TENORM wajib mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif [4].

Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*, pemegang izin zat radioaktif harus melakukan analisis dalam rangka untuk mengetahui kandungan radioaktivitas dalam TENORM. Analisis kandungan radioaktivitas harus dilakukan oleh laboratorium yang terakreditasi. Dalam hal analisis laboratorium yang terakreditasi tidak tersedia, maka kandungan radioaktivitas dalam TENORM dapat berdasarkan hasil analisis laboratorium yang ditunjuk oleh Kepala BAPETEN [5].

Dalam penyusunan peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus mempertimbangkan peraturan-peraturan terkait dengan laboratorium dan ketentuan dalam mendapatkan akreditasi sebagaimana diatur dalam UU Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian. Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis sampai saat ini belum ada. Pentingnya pengembangan peraturan sebagai payung hukum terhadap keberadaan

dari laboratorium analisis tersebut. Pengembangan peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan ini bertujuan untuk mengidentifikasi persyaratan-persyaratan yang diperlukan sebagai muatan dalam menyusun peraturan Kepala BAPETEN tersebut.

## II. POKOK BAHASAN

Kegiatan penilaian kesesuaian harus dilakukan oleh Lembaga Penilaian Kesesuaian (LPK) yang telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Penilaian kesesuaian merupakan kegiatan untuk menilai bahwa barang, jasa, sistem, proses, atau personal telah memenuhi persyaratan acuan [6]. Sebagaimana dijelaskan pada bagian pendahuluan, bahwa Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis masih belum ada. Saat ini BATAN sebagai badan pelaksana memiliki unit kerja yaitu Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) yang memiliki laboratorium terakreditasi SNI ISO/IEC 17025:2005 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi. Perkembangan laboratorium analisis kandungan radioaktivitas dapat berkembang dengan meningkatnya perusahaan yang dimungkinkan akan menghasilkan mineral ikutan. Meskipun laboratorium telah terakreditasi sesuai dengan lingkup tertentu, Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan diperlukan dalam mengatur mekanisme bahwa laboratorium yang telah terakreditasi tetap harus diberi kewenangan oleh BAPETEN sebelum memulai layanannya.

Kajian dalam pengembangan peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan ini menggunakan metodologi kajian literatur melalui peraturan perundang-undangan terkait dengan laboratorium diantaranya UU Nomor 20 Tahun 2014, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2009, dan Peraturan Kepala BAPETEN yang telah terbit sebelumnya. Kajian literatur dilakukan dengan mengidentifikasi peraturan Kepala BAPETEN terkait TENORM, mengidentifikasi peraturan terkait dengan laboratorium, dan mengidentifikasi persyaratan-persyaratan yang diperlukan sebagai muatan dalam menyusun peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan.

### a. mengidentifikasi peraturan Kepala BAPETEN terkait dengan TENORM

Peraturan terkait dengan TENORM yaitu:

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 merupakan peraturan pelaksana dari ketentuan intervensi dalam PP Nomor 33 Tahun 2007. Pada Bab IV PP Nomor 33 Tahun 2007 menjelaskan tentang kewajiban dalam melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM. Intervensi harus dilaksanakan oleh orang atau badan yang karena kegiatannya menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM. Sebelum pelaksanaan intervensi, penghasil TENORM harus melakukan analisis keselamatan radiasi terhadap TENORM yang meliputi:

1. jenis dan proses kegiatan yang dilaksanakan;
2. jumlah atau kuantitas TENORM;

3. jenis dan tingkat konsentrasi radionuklida; dan
4. paparan radiasi dan/atau kontaminasi tertinggi di permukaan TENORM.

BAPETEN melakukan penilaian terhadap hasil analisis keselamatan radiasi didasarkan pada tingkat intervensi. Tingkat intervensi dinyatakan dalam:

1. jumlah atau kuantitas TENORM paling sedikit 2 (dua) ton; dan
2. tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih besar dari 1 Bq/cm<sup>2</sup> (satu becquerel persentimeter persegi) dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar:
  - a. 1 Bq/gr (satu becquerel pergram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau
  - b. 10 Bq/gr (sepuluh becquerel per gram) untuk kalium.

Setelah dilakukan penilaian terhadap hasil analisis keselamatan radiasi, BAPETEN mengeluarkan ketetapan bahwa penghasil TENORM harus melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM atau tidak perlu dilaksanakan intervensi. Intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM dilakukan melalui tindakan remedial yang terdiri dari tindakan remedial awal dan tindakan remedial lanjutan. Dalam hal tindakan remedial yang dilakukan tidak mencapai nilai di bawah tingkat intervensi maka penghasil TENORM wajib mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif.

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 merupakan peraturan pelaksana dari PP Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir yaitu "setiap orang atau badan yang akan melaksanakan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir wajib memiliki izin dari Kepala BAPETEN". Izin penyimpanan zat radioaktif (penyimpanan TENORM) harus diajukan oleh penghasil TENORM ketika penghasil TENORM tidak berhasil melakukan intervensi melalui tindakan remedial hingga di bawah tingkat intervensi sebagaimana dijelaskan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009.

Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 menjelaskan dua ketentuan yaitu bagaimana dalam mendapatkan izin penyimpanan zat radioaktif dan bagaimana ketentuan keselamatan radiasi dalam penyimpanan. Ketentuan untuk memperoleh izin penyimpanan zat radioaktif, maka pemohon (penghasil TENORM) harus mengajukan permohonan secara tertulis, melengkapi dokumen persyaratan izin, dan menyampaikan kepada Kepala BAPETEN. Izin penyimpanan zat radioaktif masuk ke dalam pemanfaatan sumber radiasi pengion kelompok B dan masa berlaku untuk izin penyimpanan zat radioaktif adalah 5 tahun [2] [5]. Sedangkan keselamatan radiasi dalam penyimpanan zat radioaktif, maka pemohon (penghasil TENORM) harus mengikuti ketentuan mulai dari persyaratan manajemen, proteksi radiasi, teknik, dan verifikasi keselamatan.

Kandungan radioaktivitas dalam TENORM harus dianalisis oleh laboratorium analisis yang

terakreditasi. Dalam hal laboratorium analisis yang terakreditasi belum ada, kandungan radioaktivitas dalam TENORM dapat berdasarkan hasil analisis laboratorium yang telah ditunjuk oleh Kepala BAPETEN. Dengan semakin pesatnya perusahaan yang dimungkinkan menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM, kebutuhan akan laboratorium analisis kandungan radioaktivitas menjadi sangat penting. Persoalan yang mungkin muncul diantaranya:

1. jumlah penghasil TENORM yang akan mengujikan sampel sangat banyak tidak sebanding jumlah laboratorium analisis yang ada;
2. laboratorium analisis kandungan radioaktivitas dalam TENORM yang telah terakreditasi belum ada; atau
3. persebaran lokasi laboratorium analisis yang tidak merata.

Perlunya pengembangan Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan diharapkan mampu menjawab persoalan-persoalan yang muncul tersebut melalui persyaratan-persyaratan dalam peraturan.

#### **b. mengidentifikasi peraturan terkait dengan laboratorium**

Sebagai acuan dalam pengaturan laboratorium, maka harus melihat ketentuan sebagaimana yang telah diatur dalam Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian. Penilaian kesesuaian adalah kegiatan untuk menilai bahwa barang, jasa, sistem, proses, atau personal telah memenuhi persyaratan acuan. Kegiatan penilaian kesesuaian dilakukan oleh Lembaga Penilaian Kesesuaian (LPK) yang telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Akreditasi adalah rangkaian kegiatan pengakuan formal oleh v, yang menyatakan bahwa suatu lembaga, institusi, atau laboratorium memiliki kompetensi serta berhak melaksanakan penilaian kesesuaian. Dalam hal terdapat perjanjian saling pengakuan antara Komite Akreditasi Nasional (KAN) dan lembaga akreditasi internasional, kegiatan penilaian kesesuaian dapat dilakukan oleh LPK di luar negeri yang telah diakreditasi di negara tersebut berdasarkan asas timbal balik. Komite Akreditasi Nasional (KAN) adalah lembaga nonstruktural yang bertugas dan bertanggung jawab di bidang Akreditasi Lembaga Penilaian Kesesuaian [6].

Di dalam peraturan kementerian lain yaitu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2009 tentang Laboratorium Lingkungan juga dijelaskan tentang mekanisme untuk mendapatkan pengakuan sebagai laboratorium lingkungan. Untuk memperoleh pengakuan sebagai laboratorium lingkungan, pemohon wajib memiliki [7]:

1. sertifikat akreditasi sebagai laboratorium pengujian dengan lingkup parameter kualitas lingkungan yang diterbitkan oleh lembaga akreditasi yang berwenang; dan
2. identitas registrasi yang diterbitkan oleh menteri yang menjalankan urusan pemerintahan di bidang pengelolaan lingkungan hidup.

Dalam rangka untuk memenuhi sertifikat akreditasi sebagai laboratorium pengujian dengan lingkup parameter kualitas lingkungan, maka harus memenuhi [7]:

1. ISO/IEC 17025 edisi termutakhir tentang persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi; dan
2. persyaratan tambahan yang ditetapkan oleh menteri yang menjalankan urusan pemerintahan di bidang pengelolaan lingkungan hidup (lampiran Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2009).

Persyaratan tambahan yang dipersyaratkan dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2009, secara garis besar mengambil beberapa klausul persyaratan manajemen dan persyaratan teknis dalam klausul SNI ISO/IEC 17025 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi.

Terkait dengan lingkup radiasi, pengaturan laboratorium berdasarkan PP Nomor 33 Tahun 2007 menjelaskan tentang laboratorium dosimetri dan laboratorium kalibrasi. Laboratorium tersebut harus terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) [3]. Salah satu peraturan pelaksana terhadap ketentuan pengaturan laboratorium dari PP Nomor 33 Tahun 2007 adalah dengan terbitnya Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna. Ruang lingkup pengaturan dalam Peraturan Kepala BAPETEN ini meliputi ketentuan registrasi, penunjukan, survailen, laporan dan rekaman, dan sanksi administratif.

Tatacara registrasi dan penunjukan yang dijelaskan Peraturan Kepala BAPETEN ini adalah Laboratorium yang sudah mendapatkan akreditasi harus mendapatkan surat tanda registrasi dari Kepala BAPETEN. Laboratorium Dosimetri harus telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) atau lembaga akreditasi negara lain yang telah memiliki perjanjian saling pengakuan (*Mutual Recognition Arrangement (MRA)*) dengan KAN.

Dalam rangka untuk mendapatkan surat tanda registrasi, maka laboratorium dosimetri harus mengajukan permohonan kepada Kepala BAPETEN. Masa berlaku surat tanda registrasi sesuai dengan masa berlaku dari akreditasi. Jika laboratorium dosimetri belum mendapatkan akreditasi maka harus mendapatkan penunjukan dari Kepala BAPETEN. penunjukan dilakukan dengan cara laboratorium dosimetri harus memenuhi persyaratan manajemen dan persyaratan teknis. Ketentuan persyaratan manajemen dan persyaratan teknis diambil dari klausul-klausul yang ada di SNI ISO/ IEC 17025:2005 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi [8] [9].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013, kebutuhan akan laboratorium analisis yang terakreditasi atau mendapat penunjukan dari Kepala BAPETEN sangat penting untuk mengetahui kandungan radioaktivitas dalam TENORM. Peran dari laboratorium analisis misalnya pada saat penghasil

TENORM melakukan analisis keselamatan radiasi terhadap TENORM untuk mengetahui perlu atau tidak perlu pelaksanaan intervensi. Ketentuan laboratorium yang telah terakreditasi harus sejalan dengan pengaturan UU Nomor 20 Tahun 2014.

Menurut opini dari penulis terdapat beberapa pertimbangan yang digunakan untuk mengidentifikasi persyaratan-persyaratan sebagai muatan dalam pengembangan Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan ini, diantaranya adalah:

#### a. Judul Pengembangan Peraturan

Berdasarkan nomenklatur yang sudah muncul dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 adalah laboratorium analisis yang digunakan untuk mengetahui kandungan radioaktivitas TENORM. Nomenklatur dari laboratorium analisis belum di definisikan baik di dalam PP Nomor 33 Tahun 2007 maupun Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013. Menurut opini penulis, rencana judul yang diajukan diharapkan tidak hanya terbatas pada analisis kandungan radoaktivitas dalam TENORM, akan tetapi dapat mencakup analisis kandungan radioaktivitas pada umumnya.

Radioaktivitas adalah jumlah inti radioaktif yang mengalami proses peluruhan per satuan waktu [10]. Analisis radioaktivitas lingkungan bertujuan antara lain untuk [11]:

1. mengetahui dan menetapkan data-data radioaktivitas alam, yaitu cacah latar atau *background radiation*. Cacah latar ini bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan dari waktu ke waktu.
2. mengetahui besar dan jenis radioaktivitas yang dibebaskan oleh suatu fasilitas atau instalasi nuklir.
3. mempelajari penyebaran dan pengambilan (up take) radionuklida di lingkungan serta kemungkinan bahayanya bagi manusia.

Oleh karena itu, menurut opini dari penulis kemungkinan judul yang dapat dipertimbangkan adalah Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan.

#### b. Ruang Lingkup Pengaturan

Dalam penyusunan peraturan perundangan perlu dibatasi sejauh mana peraturan tersebut akan mengatur. Dengan menganalogikan seperti pada peraturan yang telah terbit yaitu Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015, maka ruang lingkup pengembangan peraturan ini akan mengatur tentang laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang meliputi registrasi, penunjukan, penatalaksanaan penunjukan, survailen, laporan dan rekaman, dan sanksi administratif.

#### c. Persyaratan dan Tatacara

Mekanisme akreditasi untuk laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan, mengikuti ketentuan sebagaimana telah diatur di dalam UU Nomor 20 Tahun 2014 yaitu pelaksanaan penilaian kesesuaian dilakukan oleh lembaga penilaian kesesuaian yang telah diakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN).

Akreditasi yang dilakukan oleh KAN mengacu kepada dokumen SNI ISO/IEC 17025:2005 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi.

Nomenklatur yang dipakai dalam pengembangan peraturan ini nantinya bisa menggunakan istilah registrasi ataupun penunjukan. Prinsip utamanya adalah pemberian pengakuan terhadap laboratorium sebelum melakukan pelayanan sesuai dengan lingkungannya. Sebagai contoh adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menerapkan registrasi terhadap laboratorium yang telah terakreditasi oleh KAN untuk memperoleh pengakuan sebagai laboratorium lingkungan.

Untuk memperoleh pengakuan sebagai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan, maka laboratorium harus mendapatkan surat tanda registrasi dari Kepala BAPETEN dan harus mengajukan permohonan secara tertulis kepada Kepala BAPETEN. Laboratorium wajib memiliki:

1. Sertifikat akreditasi dari KAN atau lembaga akreditasi negara lain yang telah memiliki perjanjian saling pengakuan (MRA) dengan KAN sesuai dengan lingkup pelayanan; dan
2. Surat keputusan menteri atau surat keputusan kepala lembaga pemerintah non kementerian, atau akta pendirian badan hukum yang menyatakan tugas dan fungsi dalam melakukan pelayanan analisis radioaktivitas lingkungan.

Masa berlaku surat tanda registrasi sesuai dengan masa berlaku dari akreditasi. Dalam hal tidak ada atau belum terdapat laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang terakreditasi maka harus mendapatkan penunjukan dari Kepala BAPETEN.

Persyaratan penunjukan laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan paling kurang harus mencakup persyaratan administrasi, persyaratan manajemen, dan persyaratan teknis. Persyaratan administrasi, meliputi antara lain:

1. data identitas pemohon;
2. fotokopi akta pendirian badan hukum atau badan usaha;
3. fotokopi izin atau persyaratan yang ditetapkan oleh instansi lain; dan
4. data dan informasi mengenai lokasi laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan.
  - a. denah fasilitas laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan;
  - b. daftar perlengkapan fasilitas pengujian sampel; dan
  - c. daftar personal.

Untuk persyaratan manajemen, pemohon penunjukan sebagai laboratorium uji bungkusan harus melampirkan dokumen yang berisi informasi mengenai [8] [9]:

1. organisasi laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan;
2. penetapan dan pelaksanaan sistem manajemen;
3. prosedur pengendalian dokumen;
4. prosedur pengaturan subkontrak kepada pihak lain;

5. prosedur pengadaan alat dan bahan untuk menunjang proses pengujian sampel;
6. prosedur pelayanan pelanggan;
7. prosedur pengendalian ketidaksesuaian pengujian;
8. pengembangan pengujian sampel, termasuk tindakan pencegahan dan perbaikan;
9. pengendalian rekaman;
10. audit internal; dan
11. kaji ulang manajemen.

Sedangkan persyaratan teknis yang harus dipenuhi untuk mendapatkan persetujuan sebagai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan, meliputi informasi tentang [8] [9]:

1. kompetensi personal;
2. kondisi akomodasi dan lingkungan;
3. metode evaluasi, metode kalibrasi, dan validasi metode;
4. peralatan;
5. ketertelusuran pengukuran;
6. sampel dievaluasi; dan
7. jaminan mutu hasil evaluasi.

#### d. Penatalaksanaan Proses Permohonan

Mekanisme dalam proses penatalaksanaan permohonan penunjukan sebagai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus diatur dalam pengembangan peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan ini. Prosedur permohonan penunjukan dimulai dari pemeriksaan kelengkapan dokumen, penilaian dokumen, sampai penerbitan sertifikat penunjukan menjadi laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus tergambar secara jelas. Dalam prosedur permohonan penunjukan harus dijelaskan tahapan proses dan rentang waktu untuk setiap prosesnya. Hal ini berkaitan dengan prinsip transparansi dan keterbukaan dalam pemberian pelayanan yang harus dilaksanakan oleh BAPETEN.

Dari beberapa pertimbangan dalam mengidentifikasi persyaratan tersebut di atas, tentunya perlu didiskusikan lebih lanjut dengan seluruh *stakeholders* terkait, baik internal maupun eksternal BAPETEN untuk mendapatkan pola pengaturan yang tepat dan mampu terap. Dengan adanya pengembangan peraturan ini diharapkan menjadi solusi dalam mengurai permasalahan terkait dengan laboratorium analisis kandungan radioaktivitas dalam TENORM. Akan tetapi, persoalan yang mungkin muncul dengan penerapan peraturan baru seperti kesiapan infrastruktur, sosialisasi peraturan kepada *stakeholders*, dll harus mampu teridentifikasi ketika melakukan koordinasi baik secara internal atau eksternal BAPETEN.

#### IV. KESIMPULAN

Pengembangan peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus harmonis dengan ketentuan pengaturan yang lainnya. Dalam pengembangan peraturan ini, laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) atau lembaga akreditasi negara lain yang telah memiliki perjanjian saling

pengakuan (*Mutual Recognition Arrangement (MRA)*) dengan KAN. Laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang sudah mendapatkan akreditasi harus mendapatkan surat tanda registrasi dari Kepala BAPETEN dengan mengajukan permohonan kepada Kepala BAPETEN. Masa berlaku surat tanda registrasi sesuai dengan masa berlaku dari akreditasi. Identifikasi persyaratan-persyaratan sebagai muatan dalam pengembangan Peraturan Kepala BAPETEN mengenai laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan harus dilakukan diantaranya dengan pertimbangan terhadap ruang lingkup, persyaratan dan tata cara, serta penatalaksanaan proses permohonan. Dalam hal tidak ada atau belum terdapat laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan yang terakreditasi maka harus mendapatkan penunjukan dari Kepala BAPETEN. Persyaratan penunjukan laboratorium analisis radioaktivitas lingkungan paling kurang harus mencakup persyaratan administrasi, persyaratan manajemen, dan persyaratan teknis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Jakarta: Setneg, 1997.
- [2] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 Tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir. Jakarta: Setneg, 2008.
- [3] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Jakarta: Setneg, 2007.
- [4] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material. Setneg, 2009.
- [5] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material. Setneg, 2013.
- [6] Republik Indonesia, Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 Tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian. Jakarta: Setneg, 2014.
- [7] Republik Indonesia, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2009 tentang Laboratorium Lingkungan. Jakarta: Setneg, 2009.
- [8] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna. Jakarta: Setneg, 2015.
- [9] "SNI ISO/IEC 17025:2005 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi," 2008.
- [10] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. Jakarta: Setneg, 2013.
- [11] Wisnu Arya Wardhana, Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan. Yogyakarta: Andi Offset, 1994.



## **TINJAUAN INTEGRATED NUCLEAR SECURITY SUPPORT PLAN (INSSP) DALAM IMPLEMENTASI KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA**

**Indah Annisa**

*Sub Bagian Kerja Sama Luar Negeri, Biro Perencanaan*

*Inspektur Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif, BAPETEN*

e-mail: [i.annisa@bapeten.go.id](mailto:i.annisa@bapeten.go.id)

### **ABSTRAK**

Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan. IAEA sebagai badan PBB adalah organisasi dan pusat kerja sama internasional yang bersama dengan negara anggotanya mempromosikan keselamatan, keamanan, dan seifgard penggunaan teknologi nuklir untuk tujuan damai. Dalam hal membangun rezim keamanan nuklir di negara anggota, IAEA memberikan bantuan dalam bentuk peningkatan kapabilitas dan teknis. IAEA juga telah mengembangkan suatu kerangka yang digunakan sebagai alat bantu dalam mendukung negara anggota dalam mengidentifikasi dan mengkonsolidasi tindakan keamanan nuklir yang akan dilaksanakan ke dalam suatu dokumen yang terintegrasi. Kerangka tersebut dikenal dengan *Integrated Nuclear Security Support Plans (INSSP)*. INSSP menyediakan suatu kerangka informasi yang menyeluruh mengenai kegiatan yang sudah dilakukan dan direncanakan akan dilakukan oleh suatu negara untuk memperkuat rezim keamanan nuklir. Semua pemangku kepentingan di negara tersebut yang memiliki tanggung jawab dan terlibat dalam pelaksanaan keamanan nuklir, harus terlibat dalam penyusunan, diskusi, dan persetujuan akhir rancangan INSSP, dan implementasi INSSP dalam bentuk Rencana Aksi. Oleh karena itu tinjauan INSSP dalam implementasi keamanan nuklir di Indonesia bertujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi persyaratan dan struktur yang dibutuhkan dalam mempersiapkan kerangka INSSP, dan mengidentifikasi pengembangan lebih lanjut yang dapat diusulkan kepada IAEA melalui kerangka ini. Dari hasil tinjauan didapatkan bahwa INSSP merupakan alat dan media yang efektif untuk implementasi keamanan nuklir di Indonesia, dan dapat meningkatkan koordinasi antar pemangku kepentingan di level nasional, serta dapat memperkuat jaringan dan kapasitas di level regional dan internasional. Kerja sama semua instansi dan pemangku kepentingan terkait dalam keamanan nuklir harus tercermin perannya dalam kelima area fungsional INSSP (*Legislative and Regulatory Framework; Prevention; Detection; Response; Sustainability*).

**Kata kunci:** keamanan, INSSP, kerangka, area fungsional, pemangku kepentingan.

### **ABSTRACT**

*Nuclear security is the prevention and detection of and response to, theft, sabotage, unauthorized access, illegal transfer or other malicious acts involving nuclear material, other radioactive substances or their associated facilities and activities. The IAEA within the United Nation (UN) family is the international organization and center for cooperation in nuclear field, works together with its Member States and partners worldwide to promote the safe, secure, and safeguards the peaceful uses of nuclear technology. In the establishment of member states's nuclear security regime, the IAEA provides assistance in the form of enhancing capability and technical matters. The IAEA has also developed a framework that is used as a tool in supporting member states to identify and consolidate the needs of its nuclear security measures to be implemented into an integrated document. This framework is known as Integrated Nuclear Security Support Plans (INSSP). INSSP provides a comprehensive information framework of activities that has been undertaken as well as being planned to undertake by member states in order to strengthen its nuclear security regime. All relevant stakeholders in the country responsible and play roles in nuclear security matters must involve in the development, discussion, and final approval of the INSSP draft, as well as the implementation of the INSSP in the form of an Action Plan. Therefore, the review on Integrated Nuclear Security Support Plan (INSSP) in the Implementation of Nuclear Security in Indonesia aims to identify the requirements and structures required in preparing the INSSP framework, as well as to identify further development to be proposed to the IAEA through this framework. From the results can be concluded that the INSSP is an effective tool and media to implement nuclear security in Indonesia, and to enhance coordination among relevant agencies at national level, as well as to strengthen network and capacities at regional and international level. A strong cooperation among relevant agencies and stakeholders in nuclear security, the roles should be reflected in all five functional areas of INSSP (*Legislative and Regulatory Framework; Prevention; Detection; Response; Sustainability*).*

**Keywords:** security, INSSP, framework, functional areas, stakeholders

## I. PENDAHULUAN

Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan [1] [2]. Aspek keamanan nuklir mulai menjadi perhatian setelah makin banyaknya ancaman terorisme yang dapat terjadi dimana saja dan pada waktu dan metoda yang tidak dapat diduga dengan mudah. Potensi pencurian terhadap bahan nuklir untuk membuat IND (*Improvised Nuclear Device*), pencurian zat radioaktif untuk membuat RDD (*Radiological Dispersal Devices*) dan RED (*Radiological Exposure Devices*), atau potensi sabotase fasilitas/ instalasi atau pengangkutan zat radioaktif atau bahan nuklir, menjadi suatu ancaman yang nyata. Oleh karena itu perlunya peningkatan pengawasan ditinjau dari aspek keamanan nuklir untuk menjamin keamanan dalam pemanfaatan tenaga nuklir.

Keamanan nuklir telah diamanahkan dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pening dan Keamanan Sumber Radioaktif, dan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Ketentuan pengaturan dalam kedua PP ini kemudian diturunkan melalui Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2015 tentang Keamanan Sumber Radioaktif, dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. Untuk Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2009 ini saat ini sedang dalam tahap revisi dengan memasukkan rekomendasi terbaru dari IAEA INFCIRC 225 Rev.5.

IAEA (*International Atomic Energy Agency*) sebagai badan khusus PBB yang mengawasi penggunaan tenaga nuklir di seluruh dunia, dalam menjalankan peran dan fungsinya dilengkapi dengan berbagai macam perangkat standar/rekomendasi. Terkait dengan keamanan nuklir, IAEA telah menerbitkan publikasi panduan dalam bentuk NSS (*Nuclear Security Series*). NSS dikategorikan kedalam 4 kategori yaitu *nuclear security fundamentals*, *nuclear security recommendations*, *implementing guides*, dan *technical guides*. Selain panduan dalam bentuk publikasi, Divisi Keamanan Nuklir-IAEA (NSNS) juga mengembangkan suatu kerangka yang digunakan sebagai alat bantu dalam mendukung suatu negara dalam menggambarkan tindakan keamanan nuklir yang akan dilaksanakan. Kerangka tersebut dikenal dengan *Integrated Nuclear Security Support Plans (INSSP)* atau Rencana Dukungan Keamanan Nuklir yang Terpadu [3] [4]. Dalam hal ini, INSSP menyediakan suatu kerangka informasi yang menyeluruh mengenai kegiatan yang sudah dilakukan dan direncanakan akan dilakukan oleh suatu negara untuk memperkuat rezim keamanan nuklir.

Rezim keamanan nuklir mencakup bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, baik yang berada di bawah atau di luar kendali peraturan, fasilitas terkait dan aktivitas terkait lainnya. Tujuan rezim keamanan nuklir suatu negara adalah untuk melindungi orang, properti, masyarakat, dan lingkungan dari konsekuensi

berbahaya dari peristiwa keamanan nuklir [2]. Untuk mencapai tujuan ini, negara harus menetapkan, menerapkan, memelihara dan mempertahankan rezim keamanan nuklir yang tepat dan tepat guna untuk mencegah, mendeteksi, dan menanggapi kejadian tersebut. Secara khusus, INSSP menggambarkan kegiatan utama dan memberikan kerangka panduan yang terkait dengan rezim keamanan nuklir suatu negara. Dalam hal ini IAEA memfokuskan memberikan bantuan kerjasama untuk mencapai tujuan tersebut.

Dengan adanya latar belakang tersebut, maka tinjauan INSSP dalam implementasi keamanan nuklir di Indonesia bertujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi persyaratan dan struktur yang dibutuhkan dalam mempersiapkan kerangka INSSP, dan mengidentifikasi pengembangan lebih lanjut yang dapat diusulkan kepada IAEA melalui kerangka ini.

## II. LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Dalam melakukan tinjauan INSSP dalam implementasi keamanan nuklir di Indonesia, dilakukan dengan:

- mengidentifikasi latar belakang pentingnya INSSP;
- mengidentifikasi persyaratan dan struktur kerangka INSSP; dan
- mengidentifikasi infrastruktur keamanan nuklir yang telah terbangun dan rencana pengembangan lebih lanjut melalui INSSP;

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Identifikasi Latar Belakang INSSP

Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan, pendeteksian, dan respon, terhadap pencurian, sabotase, akses tanpa izin, pemindahan tidak sah, atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, sumber radioaktif, fasilitas terkait fasilitas, atau kegiatan terkait lainnya [1] [2]. Resiko bahan nuklir atau sumber radioaktif lainnya dapat digunakan dalam tindakan jahat cukup tinggi dan dianggap sebagai ancaman serius bagi perdamaian dan keamanan internasional, sehingga tanggung jawab untuk keamanan nuklir sepenuhnya merupakan tanggung jawab setiap negara. Untuk itu, sistem nasional yang sesuai dan efektif untuk keamanan nuklir sangat penting dalam memfasilitasi penggunaan energi nuklir secara damai dan meningkatkan upaya global untuk memerangi terorisme nuklir [3].

Berdasarkan ketentuan yang tertuang dalam Rencana Keamanan Nuklir (*Nuclear Security Plan*) 2014-2017 yang dibuat oleh IAEA, memiliki tujuan diantaranya untuk [4]:

- membantu negara anggota dalam rangka membangun *nuclear security regime* (rezim keamanan nuklir);
- mencapai keamanan nuklir yang efektif, baik dalam penggunaan, penyimpanan, dan/atau pengangkutan bahan nuklir atau sumber radioaktif;
- mendukung negara anggota untuk membangun dan memelihara keamanan nuklir yang efektif

- melalui bantuan dalam pengembangan kapasitas, *guidance*, pengembangan sumber daya manusia;
- d. membantu kepatuhan dan penerapan instrumen hukum internasional terkait keamanan nuklir;
  - e. meningkatkan upaya keamanan nuklir global dengan melengkapi panduan internasional dalam *Nuclear Security Series* dan mendukung implementasi pelaksanaannya oleh negara anggota; dan
  - f. memperkuat kerjasama internasional dan koordinasi melalui program regional, bilateral, dan/atau internasional lainnya.

Dalam mencapai keamanan nuklir yang efektif, perlu adanya infrastruktur keamanan nuklir. Infrastruktur keamanan nuklir yang efektif membutuhkan berbagai macam pendekatan multidisiplin dengan [3]:

- a. infrastruktur hukum dan peraturan yang menjelaskan secara jelas tugas dan tanggung jawab dari masing-masing organisasi;
- b. pengembangan sumber daya manusia;
- c. penetapan prosedur dan fungsi koordinasi; dan
- d. dukungan teknis untuk infrastruktur nasional.

Dalam rangka membantu negara anggota untuk membangun rezim keamanan nuklir, IAEA berpartisipasi melalui asistensi/bantuan dan kerjasama diantaranya adalah [5]:

- a. *Peer Reviews / Advisory Services misalnya INSSP (Integrated Nuclear Security Support Plans), INSServ Mission (International Nuclear Security Advisory Service), dan IPPAS Mission (International Physical Protection Advisory Service missions);*
- b. Pengembangan panduan tentang keamanan nuklir (NSS Document Development);
- c. Basis data keamanan nuklir (*Nuclear Security Information Management System / NUSIMS*)
- d. Pendidikan dan pelatihan (HRD Development);
- e. Peningkatan kapabilitas teknis
- f. Penelitian dan Pengembangan
- g. Pertukaran Informasi dan Analisa (*Incident and Trafficking Database / ITDB*); dan
- h. Dukungan untuk perhelatan akbar (*Major Public Event/MPE*).

IAEA akan menawarkan bantuan dalam bentuk asistensi dan kerjasama kepada negara anggota (atas permintaan dari negara anggota) dalam rangka evaluasi terhadap sistem keamanan nuklir yang ada atau peningkatan sistem keamanan nuklir, disesuaikan dengan kebutuhan dari negara anggota tersebut. Bantuan ini tidak terbatas pada *INSServ Mission* dan *IPPAS Mission*. Evaluasi kebutuhan ini diidentifikasi diantaranya dari hasil temuan dan rekomendasi semua misi yang dilakukan oleh IAEA (baik yang terkait dengan isu keselamatan maupun keamanan), informasi terkini yang berasal dari IAEA, dan melalui diskusi antara negara anggota dengan IAEA. Rekomendasi yang diberikan dapat dimasukkan menjadi rencana perbaikan yang disertakan dalam *INSSP* dalam bentuk rencana kerja jangka panjang [3] [6].

*INSSP* merupakan suatu perangkat yang digunakan sebagai alat bantu IAEA dalam memberikan dukungan suatu negara terhadap rencana tindakan keamanan nuklir yang akan dilaksanakan, dan menjadi dasar hukum untuk kerjasama teknis dengan suatu negara sesuai dengan kerangka yang telah disepakati, dalam rangka penguatan infrastruktur keamanan nuklir. Selain itu, *INSSP* juga mencakup kegiatan spesifik yang memastikan perbaikan keamanan nuklir yang berkelanjutan [3]. Tujuan *INSSP* sendiri mencakup [7]:

- a. Mengidentifikasi dan mengkonsolidasikan kebutuhan keamanan nuklir dari negara anggota IAEA ke dalam suatu dokumen yang terintegrasi, dan mencakup perbaikan keamanan nuklir yang diperlukan, berdasarkan dokumen *Nuclear Security Series IAEA*; dan
- b. Untuk menyediakan kerangka kerja dalam rangka mengkoordinasikan dan melaksanakan kegiatan keamanan nuklir yang dilakukan oleh negara yang bersangkutan, IAEA, dan negara mitra potensial.

*INSSP* dikembangkan berdasarkan atas permintaan negara anggota IAEA dan dengan kerja sama mereka. *INSSP* diinisiasi dengan penyusunan bersama rancangan awal berdasarkan temuan dan rekomendasi dari misi-misi keamanan nuklir IAEA dan informasi terkait lainnya - pengkajian kebutuhan didasarkan pada dokumen *Nuclear Security Series IAEA*, yang kemudian pengembangannya dikonsultasikan dengan negara yang bersangkutan dan disesuaikan dengan kebutuhan spesifik. Kemudian dilakukan tahap finalisasi dokumen melalui suatu pertemuan antara IAEA dan perwakilan dari semua pemangku kepentingan di negara yang bersangkutan, yang memiliki tanggung jawab dan terlibat dalam pelaksanaan keamanan nuklir, dan implementasi *INSSP* dalam bentuk Rencana Aksi *INSSP*, termasuk diskusi dan persetujuan resmi dari rancangan akhir. Selain itu, untuk menjamin keberlanjutan, dilaksanakan pertemuan ulasan secara berkala untuk melacak kemajuan pelaksanaan/implementasi dan untuk mengidentifikasi jika ada kebutuhan tambahan, dan mendiskusikan cara dalam hal mencari bantuan untuk memenuhinya.

*INSSP* bersifat sebagai dokumen yang tidak mengikat secara hukum (*non-legally binding*), namun harus dianggap sebagai indikasi komitmen kuat untuk melanjutkan pelaksanaan perbaikan keamanan nuklir. *INSSP* dimaksudkan untuk bersifat dinamis sehingga menjamin fleksibilitas maksimal untuk perbaruan informasi, menambahkan, atau menghilangkan kegiatan yang sudah, dan akan dilakukan. *INSSP* dikembangkan secara sukarela antara IAEA dan setiap negara anggota yang tertarik untuk meningkatkan dan mendukung rezim keamanan nuklir dengan asistensi dari IAEA. Negara anggota mengidentifikasi kebutuhan keamanan nuklir nasional dan menetapkan rencana mengenai langkah-langkah yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan tersebut dan mekanisme koordinasi yang diperlukan [5]. *INSSP* juga bersifat dinamis yang dimaksudkan untuk mengikuti perubahan dan setiap kegiatan baru dapat ditambahkan.

IAEA menandakan INSSP sebagai suatu dokumen yang “Restricted”, yang berarti tidak diperkenankan penyebarluasan dan akses secara tidak sah yang dapat merugikan atas seluruh informasi yang termuat dalam INSSP. Jika suatu negara sudah menyetujui dokumen INSSP mereka, maka staf IAEA yang bertanggung jawab terhadap dokumen INSSP tersebut akan memperlakukan informasi yang termuat dalam INSSP sejalan dengan ketentuan *Information Security Policy* di IAEA. Divisi Keamanan Nuklir (NSNS) IAEA akan meminta izin negara yang bersangkutan terlebih dahulu sebelum membagi data dan informasi dalam dokumen Rencana Aksi INSSP dalam rangka implementasinya dengan negara mitra IAEA.

Indonesia sendiri sudah memiliki dokumen INSSP ini dan menyampaikan persetujuan tertulis kepada IAEA sebagai bentuk komitmen kerja sama dan bantuan teknis sejak tahun 2012.

## B. Identifikasi Persyaratan dan Struktur dalam Mempersiapkan Kerangka INSSP

INSSP disusun dalam suatu kerangka umum yang terdiri dari area fungsional dan memiliki tujuan yang secara jelas tertulis dalam dokumen dasar dari NSS, yaitu NSS 20 : *The Fundamentals of a State Nuclear Security Regime: Objective and Essential Elements*. Selain itu INSSP juga dikembangkan dengan mengacu kepada 3 (tiga) dokumen penting lainnya yang digunakan sebagai rekomendasi terkait keamanan nuklir, yaitu NSS 13: *Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities* (INFCIRC/225/Rev. 5), NSS 14: *Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities*, dan NSS 15: *Nuclear Security Recommendation on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control*. Kerangka kerja keamanan nuklir ini disusun berdasarkan 5 (lima) area fungsional yang terdiri dari 1) *Legislative and Regulatory Framework*, 2) *Prevention*, 3) *Detection*, 4) *Response*, 5) *Sustainability* [2] [8] [9] [10].

### 1) *Legislative and Regulatory Framework*

Kerangka legislasi dan peraturan untuk keamanan nuklir terdiri dari instrumen internasional dan prinsip-prinsip yang diakui dan diterapkan oleh otoritas nasional untuk mengendalikan bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, fasilitas terkait, dan aktivitas terkait lainnya. Berbagai instrumen hukum dan panduan internasional yang dianggap relevan dengan keamanan nuklir ini menyediakan kerangka kerja untuk menggunakan bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, fasilitas terkait, dan aktivitas terkait lainnya, dengan aman dan dapat melindungi tidak hanya negara yang bersangkutan, namun semua negara. Umumnya instrumen internasional ini bisa dibagi menjadi dua jenis, yaitu mengikat dan tidak mengikat. Bagaimanapun, kepatuhan universal terhadap instrumen yang relevan ini, perlu diharmonisasi menjadi perangkat hukum dan peraturan nasional. Oleh karena itu, kepatuhan terhadap perangkat hukum terkait keamanan nuklir ini dianggap sangat penting

untuk membangun fondasi keamanan nuklir yang kuat. Pada gilirannya, pembentukan peraturan dan persyaratan terkait pengendalian dan pengawasan penggunaan bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, fasilitas terkait, dan aktivitas terkait lainnya, dan mekanisme penegakan hukum dan sanksi akan melengkapi kerangka kerja tersebut.

### 2) *Prevention*

Area fungsional pencegahan terutama berkaitan dengan beberapa bidang kegiatan utama, yaitu: proteksi fisik bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya, baik saat penggunaan di fasilitas atau saat transportasi, pengendalian bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya, serta keamanan informasi. Untuk aspek keamanan fisik, tujuan utama adalah mencegah tindakan kriminal atau tidak sah yang melibatkan bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, mencegah pengalihan materi atau pemindahan tidak sah dari fasilitas pengguna, melalui pencurian atau tindakan melanggar hukum lainnya. Oleh karena itu, komponen pencegahan memerlukan penerapan tindakan proteksi fisik untuk memastikan tidak ada akses tidak sah ke lokasi di mana bahan nuklir dan/atau sumber radioaktif lainnya disimpan. Akuntansi dan pengendalian bahan nuklir juga menjadi kunci keamanan nuklir.

### 3) *Detection*

Area fungsional deteksi pada prinsipnya mencakup penggunaan peralatan portabel dan pemasangan portal monitor radiasi terpasang tetap (RPM) yang berfungsi untuk menyaring kendaraan saat melewati titik pemantauan. Jika terdapat bahan nuklir atau sumber radioaktif yang melewati peralatan tersebut, maka akan menunjukkan barang yang terdapat di dalam kendaraan. Namun, jika barang yang diangkut dalam kendaraan tidak terdeteksi oleh peralatan, maka akan memicu alarm, alarm akan aktif dan protokol penindakan lebih lanjut akan dilakukan. Untuk itu diperlukan pengembangan sistem deteksi nasional yang dapat memberikan pendekatan sistematis untuk memantau perdagangan gelap bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Contoh lokasi pemantauan ini meliputi penyeberangan melalui perbatasan darat, pelabuhan laut, bandara, objek vital, dan kegiatan perhelatan akbar (*Major Public Event*). Negara harus mengevaluasi dan mengembangkan jenis dan lokasi peralatan pemantauan yang dibutuhkan melalui Strategi Deteksi Nasional, sesuai dengan pedoman internasional.

### 4) *Response*

Area fungsional respon mencakup pengambilan tindakan yang dianggap perlu untuk menanggapi/merespon kejadian keamanan nuklir seperti alarm, ancaman, dan deteksi terhadap tindakan tidak sah yang melibatkan bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Sistem respon merupakan suatu rangkaian langkah yang terintegrasi, yang terdiri dari dua tahap: tahap pertama adalah tahap penilaian yang merupakan kelanjutan dari penilaian awal alarm instrumen atau peringatan informasi jika penilaian awal tidak meyakinkan; dan tahap kedua adalah pengelolaan

respon melalui pelaksanaan rencana tanggap nasional. Pada tahap pertama, hasil dari proses penilaian akan menjadi penentuan bahwa sebuah peristiwa keamanan nuklir telah terjadi kecuali jika alarm dipastikan palsu atau alarm polos. Pada tahap kedua, untuk menerapkan tindakan yang tepat untuk menanggapi tindakan kriminal atau tidak sah, prosesnya melibatkan deteksi, konfirmasi, identifikasi, penilaian situasi, dan pengambilan langkah-langkah yang tepat untuk melindungi kesehatan penduduk dan mengamankan materi.

Untuk mengelola peristiwa keamanan nuklir, negara harus memiliki rencana tanggapan nasional yang komprehensif untuk kejadian keamanan nuklir yang dikombinasikan dengan, antara lain, rencana darurat radiologis nasional. Rencana tersebut harus berfungsi sebagai [10]: (1) dasar untuk menetapkan perangkat operasional yang kompatibel (misalnya sistem komunikasi yang kompatibel) yang diperlukan untuk respon yang cepat dan efektif; dan (2) panduan bagi pihak yang berwenang yang harus memastikan bahwa semua tugas kesiapan dan tanggapan yang diperlukan diberi sumber daya dan dukungan yang sesuai. Selain itu, sistem semacam itu harus mencakup rencana kontingensi (darurat) untuk menanggapi pemindahan bahan nuklir atau sabotase fasilitas nuklir atau bahan nuklir yang tidak sah, atau upaya daripadanya, harus disiapkan dan dilaksanakan dengan tepat oleh semua pemegang lisensi dan pihak berwenang yang bersangkutan.

#### 5) *Sustainability*

Area fungsional *sustainability* (keberlanjutan) adalah kegiatan yang umumnya berlaku untuk lebih dari satu dari empat area fungsional yang ada. Meskipun banyak tindakan di dalam empat area fungsional sebelumnya terkait dengan mempertahankan rezim keamanan nuklir, salah satu yang terpenting adalah membangun kemampuan dan kapasitas personil melalui pelatihan, pendidikan, dan pengembangan pengalaman.

Pengembangan rezim keamanan nuklir secara berkelanjutan untuk peningkatan kapasitas personil dapat dilakukan melalui pelatihan, pendidikan, pengalaman, pendampingan, dan pembinaan oleh karyawan senior. Untuk itu, perlu disiapkan program pengembangan sumber daya manusia (SDM) keamanan nuklir nasional. Program SDM keamanan nuklir nasional dimaksudkan untuk mengidentifikasi dan merencanakan penyediaan personil dengan kompetensi dan keterampilan yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan keamanan nuklir nasional, yang sesuai dengan panduan dan rekomendasi keamanan nuklir internasional terkait.

Program pengembangan SDM keamanan nuklir nasional harus didasarkan pada analisis kebutuhan pelatihan/ pendidikan (TENA). TENA adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi kebutuhan SDM. Melalui TENA ini diharapkan dapat menyediakan informasi yang dibutuhkan untuk membangun pengetahuan, keterampilan, dan kemampuan keamanan nuklir yang berkelanjutan dan membantu mengembangkan budaya keamanan nuklir

terkait di suatu negara. TENA juga harus mempertimbangkan infrastruktur nasional dan rencana masa depan dalam bidang keamanan nuklir.

IAEA telah menyediakan suatu wadah yang disebut *Nuclear Security Support Center (NSSC)* atau Pusat Dukungan Keamanan Nuklir Nasional yang dapat dipertimbangkan oleh suatu negara untuk digunakan sebagai pusat program pengembangan SDM. NSSC ini dapat mendukung penerapan program pengembangan SDM keamanan yang disesuaikan dengan kebutuhan negara bersangkutan dan disusun secara sistematis di tingkat nasional, dengan harapan dapat memberikan dukungan teknis yang diperlukan, terutama untuk fungsi yang berkaitan dengan respon terhadap deteksi.

Selain itu juga dapat difungsikan untuk memberikan layanan pemeliharaan peralatan yang efektif. Langkah pertama yang dapat diambil dalam pengembangan NSSC adalah dengan mengidentifikasi fasilitas pelatihan di tingkat nasional atau universitas yang ada bersedia untuk menyelenggarakan kegiatan pelatihan keamanan nuklir di masa mendatang. Bergantung pada kompleksitas situasi di suatu negara, NSSC dapat mengambil banyak bentuk, mulai dari pusat "virtual" hingga fasilitas khusus yang dikelola oleh karyawan tetap.

IAEA dalam hal ini berperan untuk mengintegrasikan kegiatan spesifik yang telah diidentifikasi di dalam INSSP untuk memastikan keberlanjutan dari upaya peningkatan keamanan nuklir. Pengembangan SDM melalui pelatihan dan pendidikan akan disediakan untuk mengatasi berbagai tanggung jawab dan tantangan nasional. IAEA juga akan memberikan dukungan kepada negara yang ingin mengembangkan NSSC. Dukungan ini juga dapat dilakukan melalui beberapa negara yang sudah memiliki NSSC dan dapat memfasilitasi pengembangan SDM dan dukungan teknis baik di level nasional maupun regional, seperti kalibrasi dan perawatan peralatan

#### C. Identifikasi Infrastruktur Keamanan Nuklir yang telah Terbangun dan Rencana Pengembangan Lebih Lanjut melalui INSSP

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia sudah mengalami kemajuan yang cukup pesat dalam hal memperkuat infrastruktur keamanan nuklir, melalui penguatan aspek hukum dan peraturan, meningkatkan kapabilitas nasional untuk keamanan nuklir, dan memperkuat arsitektur sistem deteksi keamanan nuklir. Implementasi keamanan nuklir yang saat ini sudah berjalan di Indonesia sebagai berikut :

- a. Indonesia sudah menerima *International Physical Protection Advisory Service (IPPAS) Mission* : tahun 2001 (misi pertama), tahun 2007 (misi kedua) dan tahun 2014 (misi ketiga).
- b. Indonesia bergabung dengan *the Incident and Trafficking Database (ITDB)* sejak tahun 2000, dengan demikian Indonesia secara sukarela diminta untuk berperan aktif melaporkan seluruh kejadian keamanan nuklir sebagai bagian dari pertukaran informasi dan analisa.

- c. Indonesia sudah memasang *Radiation Portal Monitor (RPM)* melalui bantuan dari IAEA di Belawan, Makassar dan Bitung. Selain itu juga akan dipasang 1 (satu) unit di Semarang. Selain mendapatkan bantuan dari IAEA, Indonesia juga mengadakan melalui sumber pendanaan nasional untuk Jakarta, Surabaya dan Batam. Indonesia, dalam hal ini BATAN, juga sudah memiliki kemampuan untuk membuat RPM, dan saat ini sedang dalam tahapan persiapan produksi untuk memenuhi keperluan nasional.
  - d. Indonesia mendapatkan hibah peralatan dari IAEA untuk mendukung fungsi deteksi dan respon berupa: *Personal Radiation Detector (PRD)*, *Radiation Identification Devices (RID)*, *backpacks* di bawah *Joint Action IV, V, dan VI*.
  - e. Indonesia sudah memiliki *I-CoNSEP (The Indonesian Centre of Excellence on Nuclear Security and Emergency Preparedness)* yang sekaligus berfungsi sebagai *Nuclear Security Support Centre*, dengan sekretariat di BAPETEN. *I-CoNSEP* juga diharapkan akan memperkuat kerjasama dan komunikasi antar lembaga pemerintah, mempermudah pelaksanaan koordinasi, peningkatan kemampuan sumber daya manusia, dan penyediaan infrastruktur yang dibutuhkan oleh semua lembaga pemerintahan atau pemangku kepentingan yang terkait. *I-CoNSEP* diharapkan menjadi pusat unggulan dalam keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir, baik di tingkat nasional, regional dan internasional.
  - f. Indonesia sudah memiliki *Center of Security Culture and Assessment (CSCA)* di BATAN sebagai pusat pelatihan ahli dan pelatihan secara nasional, regional, dan internasional, bekerja sama dengan IAEA dan Pusat Keamanan dan Perdagangan Internasional (CITS) – Universitas Georgia (UGA-USA).
  - g. Tiga universitas Indonesia (UGM, Universitas Pertahanan-Kemhan, dan Universitas Bina Nusantara) sudah berpartisipasi aktif sebagai anggota *International Nuclear Security Education Network (INSEN)* yang memiliki misi meningkatkan keamanan nuklir global dengan mengembangkan, berbagi pengalaman, dan mempromosikan keunggulan dalam pendidikan keamanan nuklir.
- c. Indonesia dapat meminta bantuan IAEA dalam rangka kegiatan perhelatan akbar (MPE) untuk kegiatan Asian Games 2018. Hal ini dapat mengangkat nama baik Indonesia di level internasional.
  - d. Penguatan kapasitas sumber daya manusia dalam hal pengembangan profesional dan ahli di bidang keamanan nuklir, misalnya melalui program pelatihan dan pendidikan perawatan peralatan keamanan nuklir, serta mendorong pendirian program pasca sarjana di bidang keamanan nuklir.
  - e. Penguatan infrastruktur dan kapabilitas lembaga atau instansi negara yang menangani bahan nuklir atau sumber radioaktif lainnya yang berada di luar pengawasan.
  - f. Penguatan kemampuan respon dan ketahanan keamanan nuklir terhadap serangan kejahatan siber melalui pertukaran informasi (*good practices*) dan pengalaman (*lessons learned*).

#### IV. KESIMPULAN

- a. Untuk memperkuat rezim keamanan nuklir nasional diperlukan suatu cara yang efektif untuk mengurangi potensi ancaman dengan menjalin kerja sama dengan mitra internasional, seperti IAEA.
- b. INSSP merupakan alat dan media yang efektif untuk implementasi keamanan nuklir di Indonesia, dan dapat meningkatkan koordinasi antar pemangku kepentingan di level nasional, serta dapat memperkuat jaringan dan kapasitas di level regional dan internasional.
- c. Kerja sama semua instansi dan pemangku kepentingan terkait dalam keamanan nuklir harus tercermin perannya di dalam kelima area fungsional INSSP (*Legislative and Regulatory Framework; Prevention; Detection; Response; Sustainability*).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2015) *Nuclear Security Series Glossary version 1.3* (November 2015). IAEA, Vienna.
- [2] IAEA (2013) *IAEA Nuclear Security Series No. 20: Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime*. IAEA, Vienna.
- [3] IAEA (2009) *Nuclear Security Plan 2010-2013*. IAEA, Vienna.
- [4] IAEA (2013) *Nuclear Security Plan 2014-2017*. IAEA, Vienna.
- [5] IAEA (2014) *Implementation of the IAEA Nuclear Security Plan 2010-2013*. IAEA, Vienna.
- [6] Ministerial Declaration (2013) *International Conference on Nuclear Security: Enhancing Global Efforts*. IAEA, Vienna.
- [7] IAEA (2016) *IAEA Nuclear Security Activities*. Division of Nuclear Security Department of Nuclear Safety and Security, Vienna.
- [8] IAEA (2011) *IAEA Nuclear Security Series No. 13: Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC 225 Revision 5)*. IAEA, Vienna.

Rencana pengembangan dan penguatan rezim keamanan nuklir di Indonesia, terutama yang dapat secara intensif diusulkan melalui INSSP, sebagai berikut:

- a. Peningkatan kapabilitas infrastruktur dalam rangka pengembangan program pendidikan di bidang keamanan nuklir dengan menyediakan peralatan penunjang seperti perangkat laboratorium.
- b. Peningkatan kapabilitas teknis untuk fasilitas pengelolaan limbah dalam hal penanganan DSRS kategori 1 dan 2, termasuk proses repatriasi sumber kembali ke negara asal.

- [9] IAEA (2011) IAEA Nuclear Security Series No. 14: Nuclear Security Recommendations on Radioactive Material and Associated Facilities. IAEA, Vienna.
- [10] IAEA (2011) IAEA Nuclear Security Series No. 15: Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control. IAEA, Vienna.



## LAMPIRAN A





## History



1930s

Discovery of fission



1945

Nagasaki and Hiroshima



1953

"Atoms for Peace"



1957

Launch of IAEA

"[...]The more important responsibility of this atomic energy agency would be to devise methods whereby this fissionable material would be allocated to serve the peaceful pursuits of mankind. [...]"

U.S. President Dwight D. Eisenhower to the UN General Assembly in New York City on December 8, 1953



## After 60 years...



**168**  
Member States  
(as of February 2017)

**2500+** staff  
from  
over **100** countries

- HQ in Vienna
- Laboratories in Seibersdorf and Monaco + Vienna
- Regional offices in Toronto and Tokyo.
- Liaison offices in New York and Geneva

## Mandate



"Our mandate has been summarized as Atoms for Peace. Today, I feel that our mandate could be better understood as Atoms for Peace and Development."

Mutsaers Amano, Director General, IAEA

## Nuclear Safety and Security



Both aim to protect persons, property, society, and the environment.

### Nuclear Safety

- Prevent accidents and respond and mitigate their consequences should they occur
- "Safety Comes First"



IAEA Integrated Regulatory Review Service team members and staff from the Chinese National Nuclear Safety Authority to review safety upgrades carried out as part of work to improve safety of Fuzing Nuclear Power Plant, China's first HTR.

### Nuclear Security

- Measures taken to control and protect nuclear and radioactive material from falling into the wrong hands



Workers test a radioactive source tracking system at an equipment fabrication facility outside Hanoi, Vietnam.

# Nuclear Safety and Security



## Global Nuclear Safety and Security Framework

### International Legal Instruments

#### Binding Instruments

Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency and Convention on the Physical Protection of Nuclear Material as Amended



#### Non-binding Instruments

Code of Conduct, Safety and Security of Radioactive Sources

### IAEA – A Resource and Partner



IAEA Safety Standards  
Nuclear Security  
Guidance



Capacity Building



Peer Reviews  
Advisory Services

Safety and Security Are National Responsibilities

# Organization



- Director General's Office for Coordination includes the secretariat of the policy-making capacity, legal affairs, internal oversight, services and press and public information.
- Departments



This is the IAEA







- ✓ The public has a right to know
- ✓ We have a duty to inform
- ✓ Better informed public benefits your purpose – regardless of whether they agree with your viewpoint

## Radiation and nuclear communication challenges

Widespread and deep fear

- ✓ Invisible, intangible – unlike fire
- ✓ Availability heuristic – more afraid of flying than driving
- ✓ Associated with atomic bombs
- ✓ Associated with accidents
- ✓ Evokes emotions

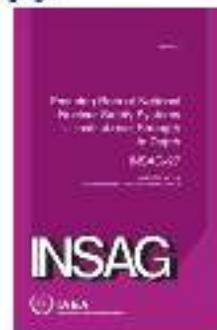




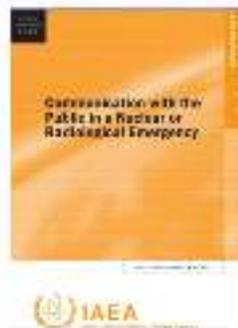
# INSAG: Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems



- ✓ "Rather than just providing information, both the regulator and the nuclear industry have to engage positively with all stakeholders: **listening, responding, seeking to learn and taking account of alternative views.** Leaders (...) must devote resources and attention and, most of all, maintain a commitment to **welcome challenge**, to listen, to respond openly, to **learn and improve**, and to engage positively with all those affected by their activities"



Positive	Negative
<b>Message</b>	
Timely information	Delayed information
Consistent, up-to-date with accurate information	Inconsistent updates
Clear and concise	Flood of jargon and acronyms
Unbiased	Baised
Takes into account <b>public values, fears and concerns</b>	Does not consider public understanding
Clear dissemination	Does not consider uncertainty
From respected source	From questionable source
Organic message	Lack of structure
Use of metaphors	Uninteresting, formulaic
Explicit conclusions	Does not make own conclusion
Positive introduction in the beginning of the message	Negative information is emphasized
<b>Reveal</b>	
Access documents	Not accessible
Responds to public feelings	Not interested
Seems approachable	Nervous
Publicly available	Restricted to insiders
Personally engaged	Arrogant, distanced
Perceived as expert	Uninformed
Perceived as honest	Defensive, insensitive
Charismatic	Lacking self-confidence
<b>Credible, honest, realistic and objective</b>	Flawed, unconvincing
<b>Facilitation</b>	
Positive personal experience	No other means and experience
Strong character, leadership	Bad leadership, inexperience
Positive contact with staff and public	Poor reputation, staff strikes
Good environmental policy	Irresponsible environmental policy
Safe and good practices, services	Late production, bad services
Positive image about past activity	Negative image about past activity
Reasonable prices	Flagged high prices
Dealing with socially relevant risks	Lack of attention to social issues





## GNSSN

Global Nuclear  
 Safety and Security  
 Network



## IAEA References

- **Draft Safety Guide DS 460: Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body:**  
[https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-09-20-09-23-NPEG/DS460\\_final\\_version.pdf](https://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/Meetings/2016/2016-09-20-09-23-NPEG/DS460_final_version.pdf)
- **E-Learning Course on Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency:**  
<http://elearning.iaea.org/m2/course/view.php?id=424>
- **Communicating with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency:**  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Communication\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Communication_web.pdf)
- **Method for Developing a Communication Strategy and Plan for a Nuclear or Radiological Emergency:** [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-CommPlan2015\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-CommPlan2015_web.pdf)
- **Training Materials on Communication with the Public in a Nuclear or Radiological Emergency:** <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-Communication-Manual/Start.pdf>
- **Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems (INSAG-27):**  
[http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1779\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1779_web.pdf)
- **Global Nuclear Safety and Security Network:** <https://gnssn.iaea.org>

## More information?



Website: [iaea.org](http://iaea.org)



YouTube: [IAEA Videos](https://www.youtube.com/IAEA)

Facebook: [iaea.org](https://www.facebook.com/iaea.org)

Instagram: [@iaea.org](https://www.instagram.com/iaea.org)

Twitter: [@iaeaorg](https://twitter.com/iaeaorg)

Flickr: [iaea ImageBank](https://www.flickr.com/photos/iaea-imagebank/)

LinkedIn: [IAEA](https://www.linkedin.com/company/iaea)

Facebook is available in Arabic, English, French, Russian, Spanish.

For general inquiries: [info@iaea.org](mailto:info@iaea.org)

## Thank you!



Nuzanna Lööf, IAEA Communication Advisor, Nuclear Safety and Security  
[n.loof@iaea.org](mailto:n.loof@iaea.org)

# PENGAWASAN NUKLIR BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Seminar Keselamatan Nuklir 2017

Prof. Dr. Ir. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU

Kepala

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)



Auditorium FMIPA UGM  
Sleman, Yogyakarta  
1 Agustus 2017



## Dua LPNK Nuklir

- Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
- UU 10/1997 (Ketenaganukliran) – saat ini dalam proses amandemen
- BAPETEN melakukan pengawasan keselamatan nuklir melalui peraturan, perijinan, inspeksi, dan penegakan hukum





## Cybersecurity untuk Domain Nuklir

- IAEA Conference 1-5 Juni 2015, Kepala BAPETEN sebagai President of the Conference
- Cyber Attack dengan implikasi fisika (kerusakan fisik), tidak hanya kerugian finansial atau pencurian identitas
- Cyber-Physical Systems Security
- Bukan hanya nuclear safety, tetapi nuclear security

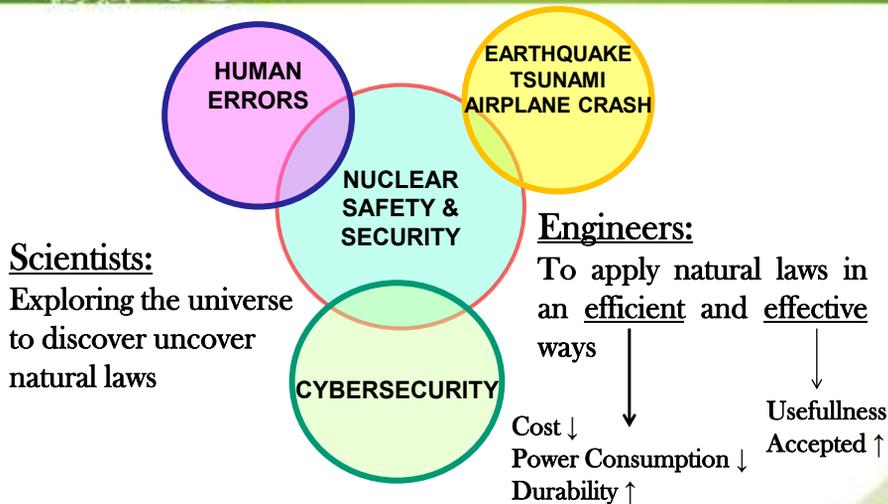


## Drone Membawa Dirty Bomb

- Drone (UAV) berharga murah
- Zat radioaktif dalam box kecil (sebagai load dari drone) dan dapat dibuka secara remote
- Publik mengira drone membawa eg: kamera untuk memotret
- Major Public Events (Asia Games 2018)
- Pencurian atau penyelundupan atau pembegalan transportasi zat radioaktif, dengan men-hack data B@LIS



# Scientists and Engineers



# Computer Security Events 2014

2014 Presented multiple computer security events that had direct impact or relevance for Nuclear



**Monju NPP (Japan)**  
Compromise of control room computer and release of information



**Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP)**  
Computer compromise and release of NPP documents



**German Steel Mill Attack**  
Control system compromise causing physical damage. Hackers had good understanding of control system operation.



## BAPETEN Licensing and Inspection Systems

- **Perijinan berbasis Web (mulai 2016)** : memudahkan pemohon ijin dan evaluator perijinan mempercepat proses, menghemat biaya
- **Inspeksi berbasis Web (mulai 2017)** : memudahkan pemegang ijin dan Inspektur, mempercepat proses, menghemat biaya
- **E-Regulation (mulai 2017)** - legal drafting secara elektronik: meningkatkan harmonisasi dan mampu terap
- **On-The-Spot Licensing**



## POTENSI ANCAMAN NASIONAL

### PETA PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DI INDONESIA





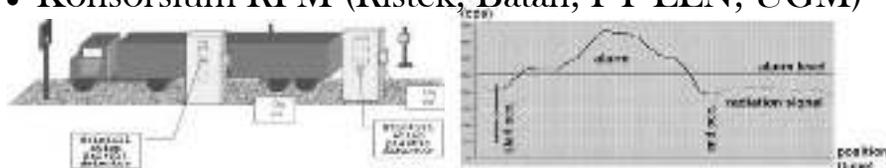
## Monitoring Radiasi Lingkungan

- RDMS terpasang di 3(tiga) reaktor riset BATAN (Serpong, Bandung, Yogyakarta) - ada 9 (sembilan) RDMS
- Rencana pemasangan RDMS di stasiun BMKG (126 lokasi)
- Tantangan : negara kepulauan lebih luas dari pada Uni Eropa atau Amerika Serikat
- Konsorsium RDMS (Ristek, Batan, PT LEN, UGM)



## Radiation Portal Monitor

- Terpasang di 6 (enam) pelabuhan laut :
- Deteksi impor/ekspor zat radioaktif atau bahan nuklir tanpa ijin
- Deteksi illegal trafficking
- Ada ratusan pelabuhan laut/udara. Batas negara sangat panjang.
- Kerjasama dengan Bakamla
- Konsorsium RPM (Ristek, Batan, PT LEN, UGM)



# Kebijakan Nasional: Penerapan RPM



Pelabuhan Belawan



Pelabuhan Makassar

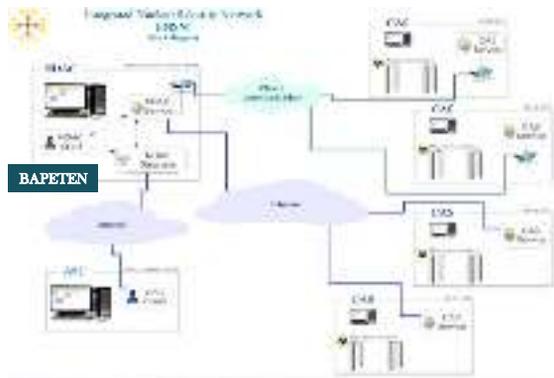
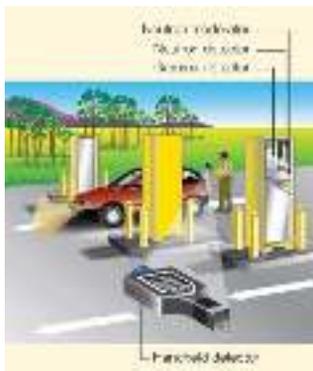
Surat bernomor B-201/Seskab/Polhukam/4/2016 berisi arahan Presiden kepada Menteri Dalam Negeri dan Menteri Perhubungan untuk langkah-langkah yang diperlukan guna memasang RPM di seluruh pelabuhan internasional, bandar udara internasional, dan pos lintas batas negara sebagai bentuk pengawasan dan pencegahan zat radioaktif/bahan nuklir masuk/keluar wilayah Indonesia secara ilegal.



Pelabuhan Bitung

# On-line monitoring: RPM

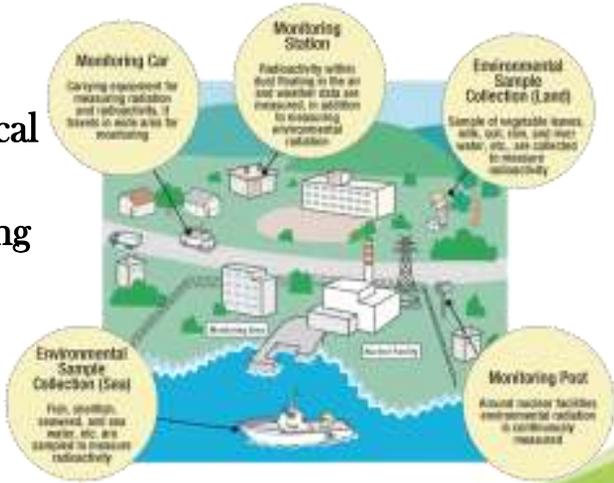
Radiation Portal Monitor are passive radiation detection devices used for the screening of individuals, vehicles, cargo or other vectors for detection of illicit sources such as at borders or secure facilities.



# On-Line monitoring: RDMS

## Environmental Radiation Monitoring around Nuclear Facilities

Radiological  
Data  
Monitoring  
System



# Simulasi Keselamatan Nuklir

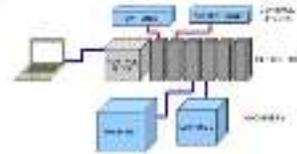
- Safety = future
- Pengembangan computer codes
- High-Performance Computers
- Kerjasama dg Perguruan Tinggi eg UNS.
- Simulasi “What-if” situation



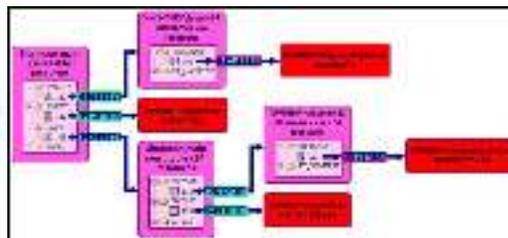


## Weaponisation of Codes

- Stuxnet
- Shamoon
- 4 (empat) mahasiswa S3 Ilmu Komputer kerjasama Bapeten-UGM dg fokus Cybersecurity untuk Nuklir



```
if [ -f /etc/passwd ]; then
  echo "The file /etc/passwd is not a regular file."
else
  echo "The file /etc/passwd is a regular file."
fi
```



## Skripsi S1

- Istiyanto, J.E., 1986, “Gangguan Lokal Terhadap Medan Neutron Termal”, Jurusan Fisika FMIPA UGM, Pembbb : Prof. Dr. Ir. Prayoto, M.Sc
- Model 1-D (“1-D model is good enough”, FS Julich, 2016)
- 50 mhs Fisika/TNuklir/Komputer per angkatan se-Indonesia; 4 tahun ada 200 skripsi pengembangan computer codes untuk reaktor nuklir
- Market spesifik, spin-offnya, “Matlab Indonesia”



# e-Regulation

- Otomasi penerbitan SK, Perka, dsb berbantuan komputer
- Mencegah salah ketik eg SK pegawai membaca Database pegawai
- Mehindari konflik antar peraturan
- Meningkatkan harmonisasi peraturan
- Meningkatkan kemamputerapan



# Program Prioritas 2015 - 2019



*Berbasis ON-Line*



# I - CoNSEP :

Indonesia Center of Excellence  
on Nuclear Security and  
Emergency Preparedness



## Program dan Aplikasi IT di Kedeputan PI

- Operasional:
  - ❑ B@LIS - Perizinan dan Pekerja FRZR
  - ❑ B@LIS-INFARA
  - ❑ B@LIS-SUKSES
  - ❑ B@LIS PENDORA
  - ❑ SIMONPAKO
  - ❑ SALT
  - ❑ Secure Communication Link
  - ❑ CAS/RPM-Sis
  - ❑ RDMS



## Program dan Aplikasi IT di Kedeputian PKN

- Operasional:
  - Si-INTAN (Sistem INformasi daTA dosis pasieN)
  - RADIOR
  - MicroSHIELD
  - RESRAD
  - CROM dan PC-CREAM
  - MCNP6, SCALE, SRAC, MVP
  - RELAP5
  - Fluent
  - AC2 (Athlet, Cocosys, Atlas)



## Program dan Aplikasi IT di Dukungan Manajemen

- SIMKA  
Sistem Informasi Kepegawaian
- SERASI  
Sistem Perencanaan dan Evaluasi
- SINERGI  
Sasaran Kinerja Pegawai
- JDIH  
Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum
- SITANIA  
Sistem Tata Naskah Kedinasan
- SIKOPEL  
Sistem Informasi Kompetensi dan Pelatihan





## Data Analytics & Licensee Mining

- **B@LIS** mencatat interaksi pemohon/pemegang ijin.
- Profile dan perilaku dapat tercatat
- Pemrosesan data dapat menguak tingkat kepatuhan
- Tantangannya adalah bandwidth Internet dan storage capacity - tdk ada data yang tidak berguna
- “You can only connect the dots looking backward, not forward” (Steve Jobs)



National Nuclear Energy Agency

*Thank you*

# Pemantau Tingkat Paparan Radiasi Berbasis Komunikasi Nirkabel

Kusminarto, Departemen Fisika FMIPA UGM.

Email: [kusmin@ugm.ac.id](mailto:kusmin@ugm.ac.id).

## Abstrak

Radiasi pengion dapat memicu timbulnya penyakit kanker. Pekerja radiasi mempunyai resiko itu jika paparan radiasi yang diterimanya tidak terkontrol. Dosimeter TLD digunakan untuk memantau dosis paparan radiasi bulanan para pekerja radiasi dengan cara membacanya menggunakan TLD *reader*. Teknologi komunikasi data nirkabel telah berkembang pesat. Di dalam makalah ini dibahas sebuah rancangan alat pemantau tingkat paparan radiasi berbasis Komunikasi nirkabel untuk dapat diimplementasikan dalam waktu dekat.

**Kata kunci:** dosis radiasi, komunikasi nirkabel.

## Pendahuluan

Penggunaan radioisotop di berbagai bidang terapan sudah tidak diragukan lagi seperti di bidang medis, pertanian dan industri (Walter, 2003). Di samping manfaat yang diperoleh dari penggunaan radioisotop tersebut, dampak negatif yang dirasakan pekerja yang terpapar radiasi juga muncul yaitu meningkatnya resiko penyakit kanker. Terjadi peningkatan paparan radiasi utamanya karena peningkatan penggunaan radioisotop (NCRP, 2016).

Pencatatan paparan radiasi terutama yang diterima oleh pekerja radiasi sudah menjadi prosedur standar di institusi pengguna radioisotope/radiasi. Pencatatan ini menggunakan alat *monitor* dosis personal. Di Brookhaven National Laboratory (BNL) Amerika digunakan 3 macam alat *monitor* dosis personal yaitu *Whole Body Thermoluminescent Dosimeter* (TLD), *Alarming Dosimeter (Electroning Personal Dosimeter, EPD)* dan *Finger Ring TLD* (BNL, 2016). Dosimeter ini dibaca setiap bulan dan akumulasi dosis yang diterima pemakai dosimeter dilaporkan setiap tahun.

Alat komunikasi telah berkembang sangat pesat. Karena kebutuhan mobilitas yang tinggi, teknologi komunikasi nirkabel menjadi kebutuhan utama. Di dalam makalah ini dibahas

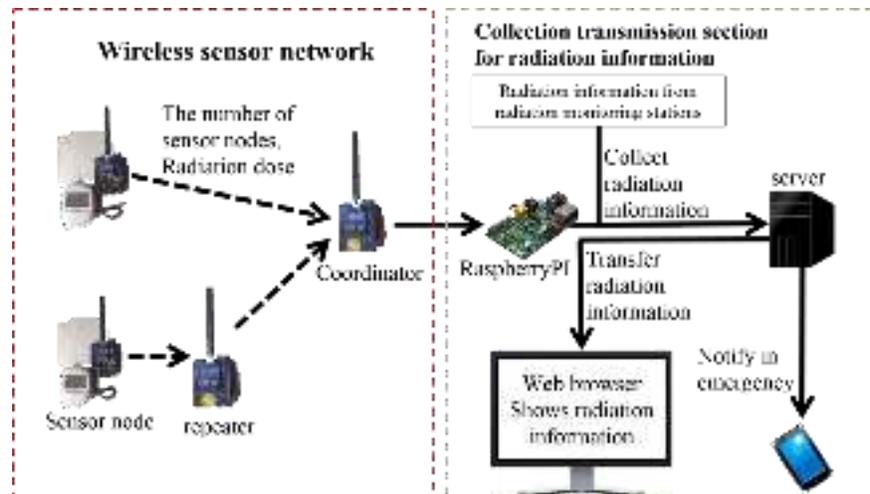
kemungkinan pengembangan pemantau dosis personal waktu nyata menggunakan teknologi komunikasi nirkabel.

### **Studi Pustaka**

Sasikumar dkk (2013) telah melakukan penelitian tentang deteksi dan pemantauan kebocoran gas melalui jaringan sensor *nirkabel*. Sistem yang dibangun bertujuan untuk menghindari kerusakan dan keselamatan di industri gas. Sistem kontrol yang digunakan jenis mikrokontroler MSP430 daya rendah dan Xbee sebagai RF modul. Pengumpulan data dari kebocoran gas menggunakan *node* sensor. Data yang dikumpulkan dikirim ke sistem pemantauan. Sistem yang dirancang meminimalkan intervensi manusia dan mengurangi konsumsi daya, sehingga melalui jaringan sensor *nirkabel* dianggap lebih ekonomis. Kalita dkk (2014) membangun suatu sistem peringatan dini gempa bumi biaya rendah menggunakan mikrokontroler AT mega 328p, ADXL335 dan Xbee S2 sebagai RF modul. Sistem yang dibangun terdiri dari bagian transmisi dan penerima informasi. Xbee S2 adalah salah satu radio modul yang memenuhi standar IEEE 802.15.4 untuk komunikasi secara nirkabel. Jangkauan dari Xbee S2 40 meter dalam ruangan dan 120 m meter di luar ruangan (garis lurus). Untuk mengkonfigurasi Xbee S2 digunakan *software* XCTU. Kecelakaan radiasi Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Fukushima Daichi menyebabkan kontaminasi radiasi di wilayah Fukushima *Prefecture* Jepang. Pemantauan lingkungan diperlukan untuk pemulihan daerah yang terkontaminasi radioaktif. Matsumoto dkk., (2013) mengembangkan suatu sistem pemantauan laju dosis radiasi menggunakan jaringan sensor nirkabel. Modul radiasi jenis Pocket Geiger type 5 oleh Radiation-watch.org digunakan sebagai pendeteksi laju paparan radiasi yang terhubung dengan arduino sebagai mikrokontroler. Sistem monitoring radiasi diaktifkan menggunakan baterai jenis sel surya sehingga konsumsi daya dapat dikurangi 3 mW. Laju dosis radiasi yang diukur oleh modul radiasi terhubung arduino terkumpul dalam suatu aplikasi yang dikirim menggunakan beberapa modul wireless (Xbee, RF, dll). Jarak komunikasi modul sekitar 40-160 m di jarak garis lurus. Dalam sistem ini, modul sensor memantau radiasi dan iklim serta dampak dekontaminasi di sekolah-sekolah, lahan pertanian dan hutan. Data dari sensor dikumpulkan oleh jaringan sensor dan kemudian dikirim ke server dengan koneksi 3G. Matsumoto, dkk., 2013 berhasil mengembangkan sebuah modul jaringan 920 MHz untuk mengirimkan data hasil pemantauan radiasi lingkungan. Hasil menunjukkan terjadi peningkatan jangkauan lebih dari 3 km dalam garis lurus.

Magalotti, dkk., (2014) mengatakan pemantauan dosis radiasi adalah masalah mendasar bagi pasien dan operator, dimana radiasi pengion dapat menimbulkan efek merugikan. Suatu sistem dosimetrik *nirkabel* dibangun untuk dapat diaplikasikan di bidang *Interventional Radiology* (Irad) guna memantau dosis yang diserap di berbagai bagian tubuh operator selama prosedur Irad. Pada penelitian ini menggunakan *CMOS image* sensor sebagai detektor radiasi sinar-x, sebuah unit pemrosesan signal digital (*Xilinx Complex Logic Device* (CPLD XC2C512) untuk menghubungkan keluaran sensor dan penerapannya. *Wireless Interface* dan unit kontrol menggunakan sebuah sistem dalam *chip* (CC430F6137) dikombinasikan dengan MSP430 dan modul RF.

Nagatani, dkk., (2016) mengembangkan suatu detektor radiasi *portable* untuk mengumpulkan dan mengirim suatu informasi radiasi menggunakan sistem jaringan sensor (*Wireless Sensor Network*). Penelitian tersebut dilakukan untuk mengembangkan sistem yang terus menerus mengumpulkan informasi radiasi dan mengirimkan informasi yang dikumpulkan. Suatu *node* sensor terdiri dari detektor radiasi *portable*, arduino, dan Xbee modul. Detektor radiasi yang digunakan adalah *Aircounter* yang merupakan jenis semikonduktor. Detektor ini mampu koneksi UART (*Universal Asynchronous Receiver transmitter* oleh RS232C (*input / output*)). Arduino digunakan sebagai mikrokontroler untuk menerima data pengukuran detektor. XBee adalah modul komunikasi nirkabel dijual oleh *Digi International*. Hal ini sesuai dengan standar IEE802.15.4 dan ZigBee, dan sangat ideal untuk membangun jaringan sensor nirkabel. Selain itu, memiliki modus fungsi tidur. Pengumpulan data hasil pengukuran beberapa *node* sensor dikirim pada suatu Koordinator yang terdiri dari Xbee modul dan Arduino sebagai mikrokontroler. Dosis radiasi yang diterima koordinator dikirim ke komputer yang terhubung dengan USB. Konfigurasi diagram sistem pada penelitian tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi diagram sistem (Nagatani, dkk., 2016).

### Rancangan Sistem Pemantau Tingkat Paparan Radiasi Berbasis Komunikasi Nirkabel

Sistem ini dirancang untuk diimplementasikan di rumah sakit untuk memantau seluruh pekerja radiasi baik para tenaga medis fungsional (dokter), operator maupun teknisi di instalasi radiodiagnosis dan radioterapi. Konfigurasi sistem mengikuti konfigurasi yang digunakan oleh Nagatani, dkk. (2016). Setiap pekerja radiasi dilengkapi dengan dosimeter yang terhubung dengan perangkat Arduino yang bekerja sebagai mikrokontroler untuk menerima data pengukuran detektor serta XBee sebagai modul komunikasi nirkabel. Jadi dalam hal ini setiap pekerja radiasi berlaku sebagai *sensor nodes*. *Sensor nodes* ini tidak hanya mengirim data dosis yang diukur tetapi juga alamat XBeenya ke koordinator, sehingga koordinator dapat mengidentifikasi *sensor nodes*. Koordinator tersusun dari Arduino dan XBee yang berfungsi sebagai penerima hasil pengukuran semua *sensor nodes* disertai alamat Xbee-nya sebagai identitas *nodes* dan sekaligus mengirimnya ke komputer. Jika jarak *sensor nodes* ke koordinator cukup jauh diperlukan sebuah *repeater*. Dengan konfigurasi seperti ini diharapkan pemantauan dosis paparan individu dapat dilakukan secara waktu nyata.

### Ringkasan

Desain sistem yang digunakan oleh Nagatani dkk.(2016) dipandang sangat sesuai untuk di adopsi. Persoalan yang harus dipikirkan penyelesaiannya adalah seberapa besar kapasitas koordinator

dapat menerima data dari sejumlah *sensor nodes*. Hal ini akan membatasi cacah sensor yang dapat digandeng ke satu koordinator.

### **Daftar Pustaka**

- Walter A.E., 2003, The Medical, Agricultural, and Industrial Applications of Nuclear Technology, Global November 16-20.
- NCRP Report No. 160 - Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States (2009) Brookhaven National Laboratory (BNL), 2016, Radiological Worker 1 Training Study Guide, October 6.
- Sasikumar, C., & D.Manivannan, 2013, Gas Leakage Detection and Monitoring Based on Low Power Microcontroller and Xbee. *International Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 58–62. Retrieved from <https://doaj.org/article/a4e4646774984cd6b1959190c705fc8a>
- Kalita, S., Borole, J. N., & Rane, K. P., 2014, Wireless Earthquake Alarm System using ATmega328p, ADXL335 and XBee S2. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 12(3), 144–148.
- Nagatani, T., Katayama, H., & Nakagawa, S., 2016, Collection and Transmission System of Radiation Information With a Portable Radiation Detector. *The Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Application Engineering 2016*, 89–94. <https://doi.org/10.12792/iciae2016.020>



## LAMPIRAN B





**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Supriyanto Pawiro  
Institusi : UI  
Nama Penyaji : Sri Inang Sunaryati  
Judul Makalah : Penentuan Dosis Serap Air Berkas Radiasi Co-60 Pesawat  
Pisau Gamma Leksell Perfexion No. Seri 6428

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Perlu memberikan catatan dalam kesimpulan bahwa metode TRS 398 adalah metode referensi lapangan besar, merupakan hasil pengukuran berbeda jika metode lapangan kecil

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

-



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Mukhlisin  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Endang K. M.Si  
Judul Makalah : Penetapan Pembatas Dosis dan Peranannya dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi bagi Pekerja Radiasi di Fasilitas Kedokteran Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Dari data dihasilkan bahwa dosis pada perawat dan radiofarmasis paling tinggi, padahal di RS lainnya terdapat perolehan dosis paling tinggi pada radiografer.

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Data yang digunakan pada makalah ini merupakan sampel data dari salah satu RS, sehingga hasil yang diperoleh juga spesifik bagi RS tersebut. Untuk RS lainnya sangat dimungkinkan memiliki hasil yang berbeda karena memang banyak aspek yang mempengaruhi karakteristik profil dosis pekerja radiasi di suatu fasilitas.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Sugardo  
Institusi : Universitas Airlangga  
Nama Penyaji : Endang K. M.Si  
Judul Makalah : Penetapan Pembatas Dosis dan Peranannya dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi bagi Pekerja Radiasi di Fasilitas Kedokteran Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Berdasarkan data tersebut nampak bahwa perawat mendapatkan dosis tinggi, apakah sudah dilakukan pelatihan terkait proteksi radiaasi bagi perawat?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Berdasarkan diskusi dengan pihak RS pada saat melakukan survey, sebagian besar RS telah memiliki kesadaran untuk memberikan pelatihan terkait proteksi radiasi bagi perawat dan pekerja lain, terutama yang memiliki latar belakang pendidikan non radiasi, yang dalam tugasnya memang memiliki interaksi dengan sumber radiasi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Alfiyan  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Endang K. M.Si  
Judul Makalah : Penetapan Pembatas Dosis dan Peranannya dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi bagi Pekerja Radiasi di Fasilitas Kedokteran Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Dalam makalah disampaikan data dari survey kajian tahun 2015-2016, bagaimana hubungan data itu dengan penetapan pembatas dosis?
  2. Kenapa menggunakan analisa statistik kuartil ke-3?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Survey tahun 2015 dan 2016 yang digunakan dalam makalah ini adalah kesimpulannya yaitu bahwa sebagian besar responden belum menerapkan konsep pembatas dosis karena pemahaman terkait penetapan pembatas dosis dan peranannya dalam upaya optimisasi belum memadai, hal ini sebagai informasi pendukung yang melatarbelakangi bahwa pembatas dosis itu perlu ditetapkan dan diterapkan dalam rangka optimisasi proteksi radiasi sehingga dalam makalah ini akan diusulkan metode penentuannya dan bagaimana menerapkannya dalam upaya optimisasi. Sampel data yang digunakan sebagai contoh kasus dalam penentuan pembatas dosis adalah data dosis di salah satu RS pada tahun 2017, bukan menggunakan data survey tahun 2015 atau 2016.
2. Melalui penetapan nilai Q3 (atau pada 75%) dari sebaran data dosis memberikan arti bahwa dengan posisi nilai pada titik 75% (dengan catatan sebaran data adalah distribusi normal) akan memberikan indikator bahwa kumpulan data dosis yang besarnya di atas Q3 harus menjalani langkah-langkah perbaikan sebagai upaya mengoptimalkan proteksi radiasi sehingga diharapkan dosis tersebut dapat turun nilainya menjadi di bawah atau sama dengan pembatas dosis yang telah ditetapkan.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Mukhlisin  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Yudi Meidiansyah  
Judul Makalah : Pengembangan Aplikasi Rekam Dosis untuk Pemeriksaan Payudara dengan Pesawat Sinar-X Mamografi berbasis Webservice

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Koreksi acuan pp 33 Tahun 2007
2. Mengapa Penggunaan target / filter harus W/R H  
Kenapa tidak menggunakan kombinasi yang lain misal ;  
MO – MO  
MO – RH  
RH - RH

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Baik dikoreksi
2. Aplikasi disesuaikan dengan kondisi / fasilitas target filter pada tiap pesawat.  
Aplikasi sudah bisa mengadopa semua variasi kombinasi target / filter.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Alfiyan  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Azhar  
Judul Makalah : Beberapa Implikasi Nilai Batas Dosis Baru Lensa Mata

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Berbagai Opsi Proteksi yang di usulkan untuk menurunkan dosis lensa mata, berapa besar efek penurunannya ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Penggunaan kacamata menurunkan 25 kali dosis tirai pb menurunkan sampai 4x dosis



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Asriani  
Institusi : Pascasarjana FMIPA UGM  
Nama Penyaji : Mukhlisin  
Judul Makalah : Verifikasi Paparan Radiasi Terhadap Desain Periasi Radiasi Tomoterapi Helikal HI - ART

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

**Saran**

Terkait hasil verifikasi yang ternyata menunjukkan bahwa masih terdapat kerja alat yang belum optimal melindungi pada titik – titik tertentu, maka mungkin perlu dirancang layer atau film berbahan dasar material yang memiliki kemampuan daya serap tinggi pada panjang gelombang elektronik magnetik tertentu dan dipadang pada titik yang “ rawan “ paparan radiasi tinggi mungkin, bisa dirancang dan diuji pada skala lab.

**Pertanyaan**

Pandangan atau rekasi Bapak terhadap dampak negatif yang mungkin dihasilkan dari proses pengobatan menggunakan sumber radiasi yang belum bisa diatasi oleh alat mutakhir seperti Tomoterapi Helikal HI – ART?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Tomoterapi merupakan inovasi penggabungan Teknologi CT – SCAN dan Linear Akselerator ( LINAC ). Modalitas Tomoterapi TSK mampu meningkatkan akurasi dosis yang terdistribusi pada



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Mukhlisin  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Chrisantus A  
Judul Makalah : Tinjauan Persyaratan Personil Iradiator dengan Zat Radioaktif Kategori I dan Iradiator dengan Pembangkit Radiasi Pion Kategori I sebagai Bahan Pertimbangan Penyusunan Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Untuk iradiator di Rumah Sakit kenapa diusulkan dapat menggunakan PPR Medik I kenapa tidak menggunakan PPR Medik II , mengingat dikatakan teknologi yang sederhana ?
  2. Bagaimana penggunaan PPR Medik untuk iradiator di luar negeri ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Walaupun teknologi sederhana, tapi menggunakan ZRA aktivitas yang cukup tinggi sehingga dibutuhkan PPR yang setara dengan PPR Industri I yaitu PPR Medik I.
2. Tidak ada informasi terkait hal ini, perlu diingat istilah PPR Industri dan PPR Medik hanya ada di Indonesia.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Yanti  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : Haendra Subekti  
Judul Makalah : Peranan Estimasi Ketidakpastiaan Pengukuran Dalam Menjamin Mutu Hasil Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Sesuai saran Luk harus melakukan estimasi ketidakpastian pengukuran. Bagaimana metodenya apakah dilakukan inter Luk dengan alat uji yang sama atau berbeda?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Estimasi ketidakpastian pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur masing – masing oleh personil laboratorium.  
Tahapannya :
  1. Penentuan modal matematis, bila ada
  2. Identifikasi faktor – faktor kontributor ketidakpastiaan
  3. Menentukan ketidakpastian bakn ( standar )
  4. Menggabungkan ketidakpastiaan bakn.
  5. Menghitung ketidakpastiaan bentangan.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penyanya : Assef Firnando F  
Institusi : PTKMR - BATAN  
Nama Penyaji : Haendra Subekti  
Judul Makalah : Peranan Estimasi Ketidakpastiaan Pengukuran Dalam Menjamin Mutu Hasil Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Dengan hasil ketidakpastian 4,96% - 69,85% apakah menggunakan alat ukur dengan tipe / kemampuan yang berbeda ?

Dengan menimbang ketidakpastian tipe A 9 ( data )  
Tipe B - Kemurnian HVL ( Fi Her ) - Ketidakpastian alat ukur

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Dalam makalah ini, ketidakpastiaan pengukuran HVL dipengaruhi :

1. Tipe A : Pengulangan Pengukuran
2. Tipe B : Sertifikat dan resolusi alat ukur  
Sertifikat Filter Alumunium ( AI )  
Namun sertifikat Filter AI tidak digunakan, karena tidak tersedia data Sertifikat filter AI.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Zaenal Arifin  
Institusi : Fisika UNDIP  
Nama Penyaji : Haendra Subekti  
Judul Makalah : Peranan Estimasi Ketidakpastiaan Pengukuran Dalam Menjamin Mutu Hasil Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Berapa rekomendasi variasi ketidakpastian yang dapat diterima secara statistik?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Makalah ini belum memberikan rekomendasi nilai ketidakpastian maksimum yang diterima oleh BAPETEN. Berdasarkan pengamatan dalam 3 tahun terakhir dalam kegiatan uji profisiensi pengujian pesawat sinar-X, nilai ketidakpastian yang relatif besar menyebabkan hasil evaluasi peserta menjadi memuaskan meskipun nilai pengukurannya berbeda secara signifikan dari nilai acuan.

Namun demikian, BAPETEN akan membuat kebijakan mengenai nilai ketidakpastian maksimum sesuai karakteristik besaran atau parameter.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Lutfiana Desy Saputri  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Mukhlisin  
Judul Makalah : Verifikasi Paparan Radiasi Terhadap Desain Perisai Radiasi Tomoterapi Helikal HI - ART

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Dalam hasil paparan yang di peroleh mengapa yang di lakukan dengan 2 metode yaitu pengukuran dan perhitungan ? Nilai toleransi untuk masing – masing berapa ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Dalam pembangunan Bunker Tomoterapi Helikal Hi – Art ada 2 langkah yang di lakukan yakni :

1. Konstruksi
2. Verifikasi

Proses konstruksi setelah dinyatakan sesuai dengan peraturan BAPETEN dengan proses pengukuran maka akan keluar ijin. Kemudian untuk verifikasi apakah hasil yang keluar benar, maka perlu dilakukan perhitungan. Ternyata dari hasil yang diperoleh ada beberapa perbedaan hasil antara perhitungan dan pengukuran. Nilai toleransi water = 7,5 msu / jam.

Deviasi = Tidak ada dari BAPETEN, karena dilakukan dengan perhitungan matematis.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Yeti Kartikasari  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : Mukhlisin  
Judul Makalah : Verifikasi Paparan Radiasi Terhadap Desain Perisai Radiasi Tomoterapi Helikal HI - ART

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apakah dilakukan pengukuran juga ketika Co-60 masih berada di shieldingnya, sebelum dibuka?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Verifikasi paparan radiasi ini dilakukan pada modalitas tomoterapi sumber linac yang memanfaatkan bunker



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Sunarya  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Wawan Susanto  
Judul Makalah : Penentuan Setting Penyinaran Pesawat Sinar-X untuk Mendapatkan Kualitas Citra Tinggi dengan Dosis Rendah pada Radiografi Dada Menggunakan Nilai Rasio CNR

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Dari kesimpulan data nilai terbaik CNR didapat pada kondisi eksposur tertinggi dan terima dosis yang tertinggi. Apakah nilai CNR ini yang musti dipilih? Apa alasannya ?
  2. Berapa nilai standar CNR yg dapat dianggap baik atau dapat dipakai ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Dari hasil percobaan didapatkan hasil yang demikian. Hal tsb dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya, kV, mAs, dengan variasi yang masih sedikit maka dari hal tsb diatas dimasukkan dlm rekomendasi bahwa ini merupakan experiment awal sehingga banyak membutuhkan parameter sampai didapatkan dosis rendah dengan faktor nilai ekspose yang rendah (optimum).
2. Dalam hal ini saya tidak tahu persisnya, namun dengan nilai CNR yang tinggi akan didapat citra yang optimal.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Yeti Kartikasari  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : Wawan Susanto  
Judul Makalah : Penentuan Setting Penyinaran Pesawat Sinar-X untuk Mendapatkan Kualitas Citra Tinggi dengan Dosis Rendah pada Radiografi Dada Menggunakan Nilai Rasio CNR

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Mengapa mempergunakan kV 60-100 untuk penelitian ini, karena kV 100 tidak pernah dipakai untuk pemeriksaan kepada pasien ?
  2. Mengapa memilih mempergunakan CNR untuk kualitas citra ?
  3. Saran : Harusnya aplikasi penelitian dapat diterapkan kepada pasien nantinya
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Karena ini merupakan sampling penelitian dengan menggunakan fantom dada dan chips tembaga ukuran 1x1 cm sehingga tidak menggunakan kV atau faktor eksposi utk pemeriksaan pasien.
2. Karena metode CNR merupakan alat yang obyektif untuk menilai kualitas citra.
3. Terima kasih atas sarannya.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Yanti  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : Wawan Susanto  
Judul Makalah : Penentuan Setting Penyinaran Pesawat Sinar-X untuk Mendapatkan Kualitas Citra Tinggi dengan Dosis Rendah pada Radiografi Dada Menggunakan Nilai Rasio CNR

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Dengan setting parameter 100 kV, 200 mA, dan 0,1 s pada CR akan menunjukkan indek exposure yang tinggi dan rentang diluar yang direkomendasikan oleh pabrikan, mengapa tidak mencari rentang yang aman sehingga dihasilkan nilai IE yang optimal (dalam rentang) karena nilai IE dapat untuk memprediksi faktor kualitas dan dosis.
2. Apakah sebelum penelitian pesawat telah dilakukan uji kesesuaian?

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Karena faktor eksposi tersebut sesuai dengan prosedur dalam penggunaan pesawat X-ray dan didapatkan data yang sesuai. Terima kasih untuk sarannya.
2. Pesawat sudah dilakukan Uji Kesesuaian dan hasilnya lolos.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Yanti  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : Yudi Meidiansyah  
Judul Makalah : Pengembangan Aplikasi Rekam Dosis untuk Pemeriksaan Payudara dengan Pesawat Sinar-X Mamografi berbasis *Web Service*

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Jika di lihat dari presentasi yang ada, pengembangan aplikasi seperti apa yang di terapkan karena belum melihat sejauh mana peranannya, applied untuk pasien atau stakeholder / RS?
2. Dari kesimpulan yang ada, di sampaikan bahwa aplikasi berbasis web dapat beroperasi dengan baik. Aplikasi Indikator bahwa aplikasi ini beroperasi dengan baik ?

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Aplikasi sudah jadi, dapat digunakan tiap rumah sakit dengan menyesuaikan formula khusus pada setiap pesawat.
2. Aplikasi berjalan dengan baik dan benar dengan akurat. Selisih hasil perhitungan prediksi dosis dan pengukurannya sebesar 3,10%



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Bambang Riyono  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Sawiyah  
Judul Makalah : Perubahan – perubahan Pada Revisi Perka Baoeten No.9 Tahun 2011 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Internasional

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Pesawat apa saja yang diwajibkan uji kesesuaian ?
  2. Parameter uji kebocoran tabung untuk pesawat sinar x dengan kondisi apa ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Pesawat sinar x diwajibkan uji kesesuaian :
  - Pesawat sinar x yang belum memiliki sertifikat uji kesesuaian\
  - Pesawat sinar x yang akan melampaui masa pengujian berkala
  - Pesawat sinar x yang mengalami perbaikan komponen yang mempengaruhi parameter uji kesesuaian
2. Parameter uji kebocoran tabung hanya untuk :
  - Pesawat sinar x baru
  - Pesawat sinar x yang mengalami penggantian tabung dan wadah tabung
  - Pesawat sinar x terpasang tetap yang pindah ruangan



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Rusmanto  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Sawiyah  
Judul Makalah : Perubahan – perubahan Pada Revisi Perka Baoeten No.9 Tahun 2011 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Internasional

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Kenapa pada juni 2017 hanya mengeluarkan 3 sertifikat uji kesesuaian ?
  2. Apakah mungkin di akhir tahun jadi 2x lipat sertifikat uji kesesuaian yang dikeluarkan ( saat ini juni 2017 ada 289 sertifikat ) ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Karena sampai dengan Juni 2017, TA masih mengevaluasi hasil uji kesesuaian yang dilakukan pada 2016, dan baru 3 hasil uji kesesuaian th 2017 yang dievaluasi dan dikeluarkan sertifikatnya.
2. Tidak bisa dipastikan pada akhir tahun TA dapat mengeluarkan 578 sertifikat ( 2x dari jumlah sertifikat yang dikeluarkan sampai juni 2017 ), ada kemungkinan kurang dari 578 sertifikat dan ada kemungkinan TA mengeluarkan lebih dari 578 sertifikat, karena saat ini Bapeten sudah melakukan perekrutan tenaga ahli ( TA ) dari tester.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Raga  
Institusi : Stikes Guna Bangsa  
Nama Penyaji : Yeti Kartikasari  
Judul Makalah : Perbedaan Indikator Nilai Dosis Radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan Image Noise pada Teknik Sekuens dan Spiral pada Computed Tomography Face Bone (Studi pada Modalitas CT Scan Merk Siemens 6 Slice)

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Kelebihan dan kelemahan T. Sekuen dan T. Spiral

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Kelebihan T. Spiral = noise rendah gambar baik, kelemahan dosis > dengan bertambahnya

Kelebihan T. Sekuen = dosis



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Mukhlisin  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Yeti Kartikasari  
Judul Makalah : Perbedaan Indikator Nilai Dosis Radiasi (CTDI<sub>w</sub>) dan Image Noise pada Teknik Sekuens dan Spiral pada Computed Tomography Face Bone (Studi pada Modalitas CT Scan Merk Siemens 6 Slice)

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah bisa diaplikasikan pada semua jumlah slice 6,16,128,64, dst ?
  2. Bagaimana menentukan pilihan untuk dosis dan noise ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Untuk masing – masing aplikasi harus di uji cobakan kembali untuk masing – masing slice less secara teori semakin tinggi slice semakin besar radiasi.
2. Pilihan bisa pada sekuen karena radiasi lebih rendah meskipun noise lebih tinggi.  
Pada obyek yang membutuhkan detail yang tinggi digunakan teknik spiral,



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Bilalodin  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : A. Maulana  
Judul Makalah : Kajian Program Jaminan Mutu Radioterapi Teknik Lanjut  
Akselerator Linear Berbasis AAPM Task Group No. 142

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Mengapa perlu adanya jaminan mutu ?
  2. Dari tiga jaminan mutu mana yang diprioritaskan ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Jaminan mutu diperlukan untuk memastikan dosis yang diberikan tepat pada jaringan target hmot dan minimal pada jaringan normal serta meminimalkan dosis untuk pekerja radiasi dan publik.
2. Ketiga aspek sama pentingnya untuk jaminan mutu.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Yeti Kartikasari  
Institusi : Poltekkes Semarang  
Nama Penyaji : A. Maulana  
Judul Makalah : Kajian Program Jaminan Mutu Radioterapi Teknik Lanjut  
Akselerator Linear Berbasis AAPM Task Group No. 142

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Mengapa kajian jaminan mutu menyakngkut beberapa aspek yaitu akurasi dosis, akurasi mekanik dan keselamatan radiasi ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Aspek tersebut merupakan aspek penting yang mempengaruhi dalam jaminan radio terapi berbasis Akselator Linear kegiatan jaminan mutu dilakukan untuk memastikan dosis radiasi maksimal pada target dari satu sisi dan disisi lain minimal untuk dosis jaringan sekitar dan kerja radiasi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Wawan Susanto  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Assef Firmando Firmansyah  
Judul Makalah : Perkembangan Teknologi Pada Pesawat Teleterapi di Indonesia dan Aspek Keselamatannya

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Bagaimana peningkatan keselamatan pada pesawat Teleterapi coleo dari 1980 an - sekarang ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Peningkatan keamanan radiasi pesawa teleterapi coleo dari tahun 1980 an masih relatif rendah dibandingkan dengan teknologi pesawat Guma Knife coleo yang menjadi 100 kali lebih baik sehingga pintu ruangan dengan bahan kayu sudah aman.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Agus Yudhi  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Diella A  
Judul Makalah : Penilaian Dosis Orang Representatif Dari Dispersi Atmosferik Lepasn Radioaktif di KNS Menggunakan Perangkat Lunak CROM

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Mengapa digunakan perhitungan satu cerobong?
2. Bagaimana cara simulasi perhitungan dosisnya?

**Saran**

Perlu ditambahkan pada analisis hasil / kesimpulan bahwa dengan perhitungan yang cukup konservatif dosis yang dihasilkan masih jauh dibawah pembatas dosis.

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Perangkat lunak CROM memang hanya memperhitungkan satu cerobong lepasn, sehingga pada kasus KNS yang memiliki 4 cerobong, suku sumber yang digunakan merupakan total dari keempat cerobong.
2. Telah dijelaskan
3. Saran diterima.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Agus Waluyo  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Diella A  
Judul Makalah : Penilaian Dosis Orang Representatif Dari Dispersi Atmosferik Lepasn Radioaktif di KNS Menggunakan Perangkat Lunak CROM

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah memperhitungkan faktor biota laut / dispersi ke badan air ?
  2. Apakah memperhitungkan tinggi bangunan disekitarnya ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Tidak. Yang diperhitungkan hanya lepasan atmosferik.
2. Ya, ketinggian bangunan disekitar cerobong yang mempengaruhi aliran udara adalah 20 meter.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : W P Daeng Beta  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Ida Bagus M  
Judul Makalah : Tantangan Penerapan Optimisasi Pada Pemanfaatan CT-Scan Berdasarkan Hasil Inspeksi

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Dari data inspeksi dinyatakan laju paparan radiasi di ruang operator tertinggi adalah 35 USV/Jam, setelah dihitung dengan asumsi-asumsi beban kerja operator, berapa dosis radiasi yang diterima oleh operator?
  2. Apakah melebihi NBD, Dose Constrain?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Dengan asumsi seorang operator :
  - Bekerja 261/tahun
  - 20 pasien setiap hari
  - 30 detik eksposisi setiap pasienDiperoleh doisi/tahun operator sebesar 1,52USV/tahun
2. Jika dibandingkan NBD dan dose constraint perka 8,2011  
NBD 20 USV/tahun, dose constraint desain 10 USV/tahun  
Jika dibandingkan dengan dose constraint referensi 6 maka dosis 1,52 USV/J melebihi dose constraint pekerja desain sebesar (1,0USV/tahun)



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Soegeng Rahadhy  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Ida Bagus M  
Judul Makalah : Tantangan Penerapan Optimisasi Pada Pemanfaatan CT-Scan Berdasarkan Hasil Inspeksi

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa saran saudara point point yang perlu di revisi pada perka No. 8 Tahun 2011 terkait pemanfaatan CT-Scan ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Syarat Dose Constraint pekerja diturunkan dari 10 MSV/tahun ke 1 MSV/tahun
2. Tidak ada klousal = diperbolehkan
3. Ruang radio diagnostik memiliki jendela pada ketinggian 2 meter.
4. Jikalau harus ada jendela → jendela harus dari kaca PB →
5. jika dibutuhkan ventilasi jendela terbuat dari kaca PB yang dibuat zig-zag
6. Ketinggian lapisan PB untuk CT-Scan dan multi slice harus dibuat full sampai plafon.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Bilalodin  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Rr. Djarwanti  
Judul Makalah : Kajian Penerimaan Dosis Radiasi Tahun 2014 – 2016  
Pekerja Radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka PTRR  
BATAN

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Berapa dosis aman bagi pekerja radiasi ?
  2. Apa makna besarnya dosis melebihi  $> MSV$  ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Dosis serendah-rendahnya yang dapat diterima pekerja radiasi ( prinsip ALARA ) mendekati background dianggap “aman”.
2. Maknanya : Dosis  $> 1 MSV$  adalah batasan dosis untuk pekerja radiasi  
Artinya : masyarakat awan menerima dosis kurang dari 1 MSV



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Raga Jatra M  
Institusi : Stikes Guna Bangsa Yogyakarta  
Nama Penyaji : Rini Indrati  
Judul Makalah : Analisa Penerimaan Dosis Serap Organ Reproduksi pada Pemeriksaan Radiografi Abdomen antara Penggunaan Teknik kV Rendah dan Teknik kV Tinggi

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Berapa nilai MAS yang digunakan dari masing-masing variasi KV ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

66KV	25MAS
68KV	22MAS
70KV	20MAS
72KV	18MAS
74KV	11MAS
100KV	5MAS
102KV	4,4MAS
104KV	4,0MAS
106KV	3,8MAS
108KV	3,6MAS



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Rijal  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Rr. Djarwanti  
Judul Makalah : Kajian Penerimaan Dosis Radiasi Tahun 2014 – 2016  
Pekerja Radiasi Bidang Teknologi Radiofarmaka PTRR  
BATAN

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Bagaimana jika ditemui dosis yang lebih tinggi dibanding teman – temannya ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Dilakukan penelusuran penerimaan dosis tersebut, kemudian dilakukan analisis hasil investigasi membuat tindak lanjut yang diperlukan.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Haendra Subekti  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Satria  
Judul Makalah : Peningkatan Kualitas PERKA BAPETEN Melalui Implementasi ISO 9001 : 2015

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa indikator kualitas dalam perka ini ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Perka berkualitas mengacu pada ketentuan yang diatur dalam UU No. 12 tahun 2011 tentang pembentukan puu. Meliputi :

1. Kejelasan tujuan
2. Dapat dilaksanakan
3. Kedayagunaan
4. Kejelasan rumusan dll.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Sawiyah  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Satria  
Judul Makalah : Peningkatan Kualitas PERKA BAPETEN Melalui Implementasi ISO 9001 : 2015

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa beda manajemen mutu dan sasaran mutu ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Manajemen mutu adalah suatu sistem untuk memastikan kesesuaian mutu terhadap persyaratan yang berlaku. Sasaran mutu adalah target yang ingin dicapai ketika implementasi ISO 9001 : 2015 sehingga sasaran mutu adalah bagian dari Manajemen Mutu.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Nudia Barenzani  
Institusi : PTBBN  
Nama Penyaji : Nazaroh  
Judul Makalah : Pengaruh Sinar-X/Foton pada Rentang Energi (12,7 – 661,6) KeV terhadap Respon TLD BARC (CaSo<sub>4</sub>:Dy) dan Algoritma untuk Evaluasi Respon TLD

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah PTKMR juga melayani pembacaan dosis untuk lab area serpong ?
  2. Apakah pernah dilakukan uji profesiensi lab PTKMR dengan lab PPIKNS dalam hal pembacaan TLD.
  3. Sering terjadi hasil pembacaan TLD, pekerja radiasi yang jarang masuk lab, mendapat dosis lebih besar dari pekerja radiasi yang sering bekerja di lab.
  4. Apakah TLD yang terciprat eanetan yang berpotensi kontaminasi mempengaruhi hasil pembacaan TLD yang garis besarnya untuk penguluran radiasi.
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

-



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Dwi Cahyadi  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Arif Isnaeni  
Judul Makalah : Perhitungan Reaktifitas lebih reaktor TRIGA pada SCALE 6.0

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Salah satu fitur keselamatan reaktor Jogja adalah bahan bakar uraiannya adalah menggunakan uranium hidrida. Bagaimana pengaplikasiannya dalam program SCALE 6.0 ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Pengaplikasiannya dengan menggunakan campuran :

- U-235 dalam satuan densitas atom
- U-238 dalam satuan densitas atom
- Zr5H8 dalam gram



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : W. P Daeng Beta  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Dewi Apriliani  
Judul Makalah : Telaah Peraturan Kepala BAPETEN No.1 Tahun 2010 terhadap Persyaratan IAEA Safety Standard Series No. GSR Part 7

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Sedalam apa strategi proteksi radiasi di GSR part 7 dikaitkan dengan emergency Exposure Situation ?
  2. Apakah Strategi proteksi di GSR part 7 pada tahap kesiagaan atau pada tahap penanggulangan KN ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

-



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Nanang Triagung Edi Hermawan  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Dewi P.M  
Judul Makalah : Tinjauan Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia untuk Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Salah satu kendali untuk menerapkan sistem SKKNI adalah kesiapan infrastruktur lembaga-lembaga yang terkait, seperti lembaga pelatihan dan lembaga pengujian yang harus saling independen serta terakreditasi oleh BNSP. Bagaimana terobosan yang dilakukan untuk menerapkan sistem SKKNI dengan perka SIB personil di IBN ?
  2. Apakah personil atau petugas di IBN merupakan suatu profesi?
  3. Terkait pernyataan bahwa jika nantinya sistem SKKNI diterapkan maka BAPETEN tidak perlu melakukan uji kualifikasi, siapakah yang nantinya bertindak selaku pengujian yang terakreditasi?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Harus ada yang menginisiasi terbentuknya susunan SKKNI terlebih dahulu yang melakukan pelatihan dan ujiannya atau lembaga yang sudah terakreditasi yang melakukan uji kompetensi atau lembaga yang ditunjuk oleh Bapeten setelah lulus pelatihan dan ujian kompetensi BNSP yang memberikan sertifikasinya.
2. Petugas IBN merupakan profesi menurut saya, namun kompetensinya tidak bisa disamakan dengan profesi lainnya.
3. Yang melakukan pengujian yang terakreditasi atau Bapeten. Bapeten lah yang paling independent dalam hal ini.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Ikhsanudin  
Institusi : UNY  
Nama Penyaji : Nanang Triagung Edi Hermawan  
Judul Makalah : Strategi Penguatan Landasan Hukum Persyaratan Keamanan Dunia Maya (Cyber Security) dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir untuk Mendukung Keamanan Nuklir Nasional

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Diluar payung hukum (peraturan perundang-undangan), bagaimana tingkat kesiapan Indonesia secara teknis terhadap ancaman keamanan dunia maya (cyber security) dan pemanfaatan energi dibidang ketenaganukliran?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Kesiapan penerapan persyaratan keamanan dunia maya untuk pengoperasian PLTN di Negara kita harus didorong dengan meletakkan dasar payung hukum yang memadai untuk mewajibkan pemegang izin memenuhi dan menerapkan sistem keamanan dunia maya.

Peningkatan kesadaran terhadap isu dunia maya terus dilakukan BATAN selaku lembaga litbang PLTN dan BAPETEN selaku pengawas terus menjalin kerjasama dengan lembaga internasional (misal IAEA) maupun negara lain (misal US-DOE) untuk melaksanakan pelahhan dunia maya dengan melibatkan personil-personil yang terkait dengan sistem kendali instalasi nuklir, pengelola IT, hingga petugas keamanan.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Dwi Cahyadi  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Nanang Triagung Edi Hermawan  
Judul Makalah : Strategi Penguatan Landasan Hukum Persyaratan Keamanan Dunia Maya (Cyber Security) dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir untuk Mendukung Keamanan Nuklir Nasional

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Mohon penjelasan terkait hubungan antar digitalisasi dari sistem dan kasus serangan cyber dengan stux net ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Secara prinsip suatu sistem kendali yang terisolasi dan tidak berhubungan dengan sistem lain memiliki integritas keamanan yang tinggi terhadap kerentanan akibat ancaman dunia maya.

Sistem kendali berbasis sistem digital, terlebih jika terhubung dengan sistem lain melalui jaringan komunikasi data, memiliki kerentanan terhadap ancaman dunia maya. Semakin suatu sistem terbuka, dapat diakses banyak orang dengan beragam cara maka sistem tersebut semakin rentan terhadap ancaman dunia maya. Terkait dengan kasus stuxnet, memang benar bahwa serangan tidak dilancarkan melalui jaringan komunikasi data dari luar sistem. Namun demikian berbicara tentang konsep keamanan dunia maya tidak semata-mata melindungi sistem dari serangan melalui konsep jaringan saja, tetapi mencakup penerapan persyaratan keamanan dunia maya yang dikombinasikan dengan penerapan proteksi fisik/keamanan sumber radioaktif termasuk kendali administratif.

Dengan demikian peluang penyusup luar melakukan aksi untuk menginveksi sistem dengan virus worm trojan melalui media data yang diselundupkan oleh seorang penyusup sebagai kasus stuxnet dapat diantisipasi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Dwi Cahyadi  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Rahmat Edi Harianto  
Judul Makalah : Analisis Numerik Bahaya Kebakaran pada Fasilitas HDR T-51 Menggunakan Gas Propan dengan Program Komputer SYLVIA

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa Urgensinya propan bisa sampai ada di reaktor sehingga disimulasikan dengan SYLVIA ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makala**

---

Program Komputer SYLVIA dapat juga mensimulasi kebakaran untuk fuel selain gas, yaitu dalam bentuk cairan dan padat misalnya berasal dari elektrikal kabinet, karena terjadinya korsleting kabel.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Azizul Hakim  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Rahmat Edi Harianto  
Judul Makalah : Analisis Numerik Bahaya Kebakaran pada Fasilitas HDR T-51 Menggunakan Gas Propan dengan Program Komputer SYLVIA

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Persamaan konduksi dan konveksi itu digunakan untuk perpindahan panas, bukan perpindahan api apakah persamaan tersebut berlaku untuk simulasi kebakaran ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Persamaan yang dimodelkan adalah perpindahan panas, meliputi radiasi, konveksi, konduksi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Arif Isnaeni  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Rahmat Edi Harianto  
Judul Makalah : Analisis Numerik Bahaya Kebakaran pada Fasilitas HDR T-51 Menggunakan Gas Propan dengan Program Komputer SYLVIA

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apakah ada perbedaan kebakaran dan ledakan?  
Sebagai contoh di Fukushima apakah masuk sebagai kebakaran ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Ledakan Co, H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**PRESENTASI ORAL**

---

Nama Penanya : Nazaroh  
Institusi : PTKMR  
Nama Penyaji : Yus Rusdian  
Judul Makalah : Rancangan Penerapan Prinsip Justifikasi Proteksi Radiasi berbasis Rekomendasi IAEA untuk Pengawasan Pemanfaatan Nuklir di Indonesia

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Bila sumber Co – 60 (teleterapi) Rumah Sakit, sudah tidak efektif digunakan untuk terapi pasien, namun sangat bermanfaat untuk fasilitas kalibrasi PTKMR, apakah sudah ada aturannya untuk pengurusan justifikasi atau apa alur yang harus dilakukan untuk pemilihan sumber tsb agar tidak dibutuhkan.

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

-



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Hidayati Amar  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Suci P dan Zulfiandri  
Judul Makalah : Konsep Pengembangan Pengaturan Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir Serta Pengangkutan Bahan Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah proteksi fisik termasuk dalam ranah security ?
  2. Apa wewenang BAPETEN untuk mem-push para pemegang izin dalam hal proteksi fisik selain melalui peraturan ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Iya
2. Melalui perizinan saat pemegang izin mengajukan izin konstruksi, pengoperasian dan dekomisioning serta dalam pengangkutan BN
3. Melalui inspeksi, inspektur Bapeten selalu menginspeksi dan verifikasi ke pemegang izin keperaturan tahap penerapan SPF.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Agus Yudi P  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Suci P dan Zulfiandri  
Judul Makalah : Konsep Pengembangan Pengaturan Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir Serta Pengangkutan Bahan Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah tabel katagori bahaya radiasi merupakan parameter menghitung efektivitas proteksi fisik ?
  2. Bagaimana cara menghitung efektivitas ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Tidak, parameter digunakan tetap menggunakan keamanan seperti yang sudah dihasilkan dalam kategorisasi Bahan Nuklir sedangkan tabel kategori bahaya radiasi didekati dengan tabel kategorisasi Bahan Nuklir.  
Misal : BN Gol. 1 Sistem proteksi fisiknya = kategori bahaya radiasi TK 1  
Bahan Nuklir Gol. II, III, IV sama dengan kategori bahaya radiasi TK II atau III
2. Didalam raperka ini telah dinyatakan bahwa PI wajib menghitung probabilitas efektivitas SPF.  
Direktorat inspeksi safeguard BAPETEN akan membuat panduan / instruksi kerja yang dapat digunakan penilai / PI dalam menghitung probabilitas efektivitas SPF di instalasi tsb.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Nurnude  
Institusi : RS. Kanker Dharmais  
Nama Penyaji : Agus Waluyo  
Judul Makalah : Perhitungan Dampak Radiologi Akibat Pengoperasian HTGR dengan Program Komputer CROM

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Program Crom ini, apakah bisa untuk siklotron ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Program Crom ini digunakan untuk menghitung lepasan pada kondisi normal pada suatu Instalasi Nuklir.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Budi Rohman  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Angga Kausar  
Judul Makalah : Pengembangan Peraturan Mengenai Keselamatan Operasi Reaktor Non Daya

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa yang baru dari penyusunan perka

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Dikarenakan pp 43/2006 dicabut dan terbitnya pp s4/2012 maka muaiian perka menyesuaikan pp s4/2012. Banyak perka yang isinya bertabrakan dengan perka 2/2011



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Hidayati Amar  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Arifin M.Susanto  
Judul Makalah : Manajemen Risiko Dalam Konstruksi Instalasi Nuklir /  
PLTN dan Peraturan Yang Berlaku di Indonesia

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Kejadian-kejadia apa saja yang termasuk dalam Nilai 1,2 dan 3 ?
  2. Apakah BATAN sudah melakukan Manjemen Resiko untuk pembangunan IN yang telah mereka rencanakan ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Kejadian yang dapat dimasukkan antaranya adalah :  
Level 1 lepasnya krane toner  
Level 2 tertumpahnya mugan  
Level 3 terpleset, kejatuhan benda del.  
Hal tersebut diatas dilihat dari frekuensi kejadian dari pengalaman-pengalaman negara lain.
2. Batan dari pengalaman RPNK /RDE secara Riset telah melakukan kajian Manajemen Resiko, namun menggunakan dosis WOS, paket-paket pekerjaan.  
→ Dari paket pekerjaan dilihat mana yang penting



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Arifin M.S  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Catur  
Judul Makalah : Peranan *Clearinghouse* dalam Pengawasan Ketenaganukliran

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apa rekomendasi penulis untuk menghadapi kesulitan akses informasi ?
  2. Bagaimana Integrasi Si – INTAN dengan sistem data base lan ex : Bpfd del
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Akses informasi hanya diberikan secara umum tidak terlalu aneh, karena ada peraturan perundangan – undangan terkait dengan informasi publik sebagai contoh : Data dosis pasien, hanya diberikan data dosis, tidak sampai ke nama Pasien.  
Sejalan dengan peraturan terkait informasi publik, instansi harus memberikan informasi sesuai dengan koridor peraturan yang berlaku.
2. Data base di Si – INTAN dapat diakses oleh semua instansi yang berkepentingan Ataupun personal yang sudah teregistrasi di dalam sistem Si – INTAN jadi BPFK dapat mengakses sistem tsb, karena Si – INTAN hanya dimiliki oleh BAPETEN.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Reno Alamsyah  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Dewi P.M.  
Judul Makalah : Koperasi Sebagai Badan Pelaksana Dalam UU No. 10 tahun 1997

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa yang khusus atau terbaru dari paper ini?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Ada 6 pasal terkait dengan keterlibatan koperasi dengan badan pelaksana didalam UU 10 1997, keberadaan koperasi menjadi perdebatan untuk dipertahankan atau tidak.

Mengacu pada peraturan USNRC dimana badan Cooperatives dinilai sebagai entitas dalam produksi dan penyaluran tetap diberikan kesempatan.

Tentu saja koperasi tidak bisa sembarangan, namun tetap mengacu ke PP 2 TH 2014 terkait perizinan IBN serta memenuhi UU 17 Tahun 2012.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Azizul Khakim  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Dewi P.M.  
Judul Makalah : Koperasi Sebagai Badan Pelaksana Dalam UU No. 10 tahun 1997

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Permasalahan koperasi dalam UU 10 kenapa diangkat sebagai topik?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Sebagai enhtas yang ada dalam UU 10 Tahun 1997 peranan koperasi tidak bisa dihilangkan begitu saja.

Terkait dengan contoh di Amerika Serikat yang luas wilayahnya besar seperti Indonesia. Perusahaan besar seperti tidak menarik untuk mendistribusi ke wilayah pedesaan. DPana akhirnya koperasi berperan sebagai penyalur tenaga listrik sehingga tahun 1938 oleh USA dibuat UU tentang Rural Electricity Administration dan dimasukkan dalam 10 CFR part 50 sebagai enhtas yang boleh diproduksi dan mendistribusikan produk listrik.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Budi Rohman  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Diah Hidayanti  
Judul Makalah : Kajian Neutronik Perangkat Subkritik untuk Produksi Mo-99 (SAMOP)

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Mengapa menggunakan bahan bakar TRIGA ?
  2. Seberapa penting batang penyerap dalam sistem SAMOP ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Untuk menambah fluks neutron di teras SAMOP, sehingga menambah produksi Mo-99.
2. Keberadaan batang penyerap dimaksudkan untuk mengantisipasi shutler / penutup pintu beamport gagal bekerja ( mengalami kemacetan ).



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Suci Prihastuti  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Diah Hidayanti  
Judul Makalah : Analisis Spektrum Neutron Elemen Bakar Triga 2000  
Bandung Akibat Perubahan Temperatur

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apa kegunaan mengetahui pengaruh temperatur elemen bakar TRIGA 2000 ?
  2. Bagaimana cara memvalidasi program komputer SRAC 2006 ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Untuk menganalisa parameter keselamatan pada elemen bakar reaktor nuklir , dalam hal ini adalah elemen bakar reaktor riset.
2. Validasi bisa dengan membandingkan hasil perhitungan SRAC 2006 dengan hasil eksperimen atau membandingkan dengan hasil perhitungan computer code yang lain.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : M. Fahrur Rovi  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Diah Hidayanti  
Judul Makalah : Analisis Spektrum Neutron Elemen Bakar Triga 2000 Bandung Akibat Perubahan Temperatur

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Kaitan kajian / analisi spektrum Neutron dengan Nuklir ?
  2. Apakah ada perubahan spektrum neutron akibat kenaikan temperatur ini ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Analisa ini dilakukan pada elemen bakar reaktor TRIGA 2006 Bandung yang merupakan bahan nuklir, yang didalamnya terjadi reaksi nuklir yaitu reaksi fisi.
2. Spektrum Neutron pada reaktor TRIGA 2006 Bandung yang merupakan reaktor termal, memiliki dua puncak spektrum. Perubahan spektrum terjadi pada spektrum di daerah rentang energi termal.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Indra  
Institusi : Ilmu Komputer UGM  
Nama Penyaji : Diah Hidayanti  
Judul Makalah : Analisis Spektrum Neutron Elemen Bakar Triga 2000 Bandung Akibat Perubahan Temperatur

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Fungsi reaktor nuklir ?
  2. Kegunaan melakukan analisa spektrum neutron ini ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Reaktor Nuklir dibedakan menjadi 2, yaitu Raktor Riset dan Reaktor Daya (PLTN) . Reaktor Riset digunakan untuk eksperimen, pendidikan, iradiasi material, dan produksi radioisotop. Reaktor Daya ( PLTN ) dimanfaatkan panasnya untuk menggenarasi listrik / daya.
2. Kenaikan temperatur dalam elemen bakar merupakan salah satu parameter keselamatan dalam pengoperasian reaktor nuklir. Tujuan analisa ini untuk mengetahui apakah ada perubahan pada spektrum neutron elemen bakar TRIGA 2000 Bandung ketika terjadi kenaikan temperatur elemen bakar saat reaktor beroperasi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Yudi Pramono  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Liliana Yetta Panali & Veronica Tuka  
Judul Makalah : Lepas Radiasi dari Pengoperasian Reaktor Serba Guna  
GA Siwabessy ke Lingkungan

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Mohon dilihat kembali Perka 7 tahun 2013 apakah nilai – nilai yang ada dilampirkan sama dengan nilai – nilai yang ada di Rancangan Perka Revisi yang sudah ada di Bitu.

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Terima kasih atas sarannya.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Bilalodin  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Nudia Barenzani  
Judul Makalah : Kajian Penerapan Aspek Keselamatan pada Instalasi Elemen Bakar Eksperimental Berdasar TECDOC 1221

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Berapakah besarnya radiasi uranium alam ?
  2. Prospek uranium alam bagi reaktor di Indonesia ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Besarnya paparan radiasi uranium alam masih dalam batas paparan reaktor 0,99USV/J – 300USV/J
2. Prospek Uranium alam bagi reaktor di Indonesia adalah sebagai sarana litbang bahan bakar reaktor daya tipe WPR sehingga dapat sebagai sumber informasi tentang bahan bakar nuklir.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Budi Rohman  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Nur Siwhan  
Judul Makalah : Kajian Keselamatan Aspek Lepasn Bahan Berbahaya Etilen Menggunakan Perangkat Lunak Aloha

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Mohon agar dapat dijelaskan analisis bahaya dari zat kimia dalam kaitannya dengan keselamatan nuklir !
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Salah satu persyaratan dalam perka No. 5 Tahun 2007 adalah bahwa, PET (Permohonan Evaluasi Tapak) harus melakukan analisis evaluasi tapak. Evaluasi Tapak yang perlu dilakukan diantaranya adalah Aspek bahaya Eksternal akibat ulah manusia.

Dalam perka No. 6 tahun 2008 salah satu aspek akibat ulah manusia yang perlu dianalisis adalah lepasan bahan berbahaya dari industri kimia, ledakan ataupun kebakaran.

Etilen merupakan salah satu zat berbahaya dan juga menimbulkan ledakan atau kebakaran yang keberadaannya perlu dianalisis untuk keselamatan Instalasi Nuklir.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Bambang Riyono  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Nur Siwhan  
Judul Makalah : Kajian Keselamatan Aspek Lepasn Bahan Berbahaya Etilen Menggunakan Perangkat Lunak Aloha

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Apa perbedaan ALOHA dengan PC COSYMA ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

PC COSYMA merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung lepasan atau dispersi taf radiasi dari lastalasi nuklir output yang dihasilkan adalah dosis pekerja, masyarakat dan lingkungan.

ALOHA merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung daerah lepasan zat berbahaya dari industri kimia. ALOHA hanya digunakan untuk menghitung pada kondisi kecelakaan.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Dewi Prima  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Pandu Dewanto  
Judul Makalah : Keselamatan Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Bekas Reaktor Berpendingin Gas / High Temperatur Gas Reactor (HTGR) ditinjau dari Aspek Teknis Legal dan Kebijakan Strategi Nasional

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Strategi apa yang di ambil oleh Indonesia terkait BBB ?
  2. Apakah dimungkinkan reprosesing ?
  3. Bila di Revisi UU No. 10 Tahun 1997 muncul opsi reprosesing apakah dimungkinkan?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Strategi Nasional pengelolaan BBB ditentukan secara nasional mengaju pada UU No. 10 Tahun 1997. Saat ini strategi nasional belum ditentukan perlu koordinasi antar instansi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Amil  
Institusi : BAPETEN  
Nama Penyaji : Suci Prihastuti / Zulfiandri  
Judul Makalah : Konsep Pengembangan Peraturan Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir Serta Pengangkutan Bahan Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Kenapa golongan klasifikasi bahan nuklir (ada/sampai IV) tidak sama dengan kategorisasi bahaya radiasi (sampai dengan V) ?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Karena untuk Golongan Bahan Nuklir dilihat dari prespektif keamanan Nuklir berdasarkan yang dapat digunakan untuk tujuan non damai.  
Sedangkan kategori bahaya radiasi ditinjau dari prespektif keselamatan berdasarkan daya reaktor atau jenis Instalasi.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**POSTER**

---

Nama Penanya : Dr. Khoerul Anwar  
Institusi : -  
Nama Penyaji : Suci Prihastuti / Zulfiandri  
Judul Makalah : Konsep Pengembangan Peraturan Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir Serta Pengangkutan Bahan Nuklir

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

1. Apakah proteksi fisik termasuk dalam ranah security ?
  2. Apa wewenang BAPETEN untuk mem-push para pemegang izin dalam hal proteksi fisik selain melalui peraturan ?
- 

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

1. Parameter klarifikasi bahan nuklir berdasarkan jenis bahan nuklir dan beratnya.
2. Saran : Dipertimbangkan untuk menggunakan computer base guna mengefektifkan sdm dan waktu.



## LAMPIRAN E





**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**SIDANG PLENO**

---

Nama Penanya : Asriani  
Institusi : Pasca sarjana MIPA UGM  
Nama Penyaji : Susanna Loof  
Judul Makalah : Nuclear Communication

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

IAEA with the motto of 'atoms for peace an development' have a programm on protecting environment.  
Then, how IAEA responds the large of nuclear activity in the world, like in Palestine? Which is not only destroy water, food, and others, but almost all aspect of life.  
How IAEA communicate about safety and security for nuclear?

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

One of example of IAEA responds showed by delivering Major Report on Fukushima Accident to member states. This is a continuous efforts to strengthen nuclear safety worldwide. The report was arranged by 100's experts from member state.



**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017**  
**BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**FORM TANYA JAWAB**  
**SIDANG PLENO**

---

Nama Penanya : Rijal Rahman  
Institusi : UGM  
Nama Penyaji : Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU  
Judul Makalah : Pengawasan Nuklir Berbasis Teknologi Informasi

---

**Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar**

---

Bagaimana dengan seorang praktisi yang gagal menghasilkan suatu produk dibidang nuklir, bagaimana langkah hukum apabila ditemukan kelalaian oleh manusia.

---

**Jawaban/Komentar dari Penyaji Makalah**

---

Hukum itu berkesusaian dengan pemegang izin. BAPETEN bisa dimintai pertanggungjawaban ketika bermasalah atau terjadi kesalahan dalam penerbitan izin terhadap pemohon izin.



## LAMPIRAN D



## **PENGHARGAAN**

### **I. MAKALAH TERBAIK**

1. Yus Rusdian Akhmad, BAPETEN
2. Endang Kunarsih, BAPETEN
3. Endang Kunarsih, BAPETEN
4. Dewi Apriliani, BAPETEN
5. Assef Firnando Firmansyah, Nurman Rajagukguk, Gatot Wirdiyanto, BATAN

### **II. PENYAJI ORAL TERBAIK**

1. Azizul Khakim (Kelas IBN), BAPETEN
2. Nasaroh (Kelas Umum), BATAN

### **III. PENYAJI POSTER TERBAIK**

1. Sawiyah (Kelas FRZR), BAPETEN
2. Agus Waluyo (Kelas IBN), BAPETEN
3. Indah Annisa (Kelas Umum), BAPETEN

