

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIV

TEMA SEMINAR

Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif,
Handal, berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan
Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa



05 Oktober 2016

Gedung IASTH Universitas Indonesia
Salemba – Jakarta

Penyelenggara



UNIVERSITAS INDONESIA

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN
Dan
Program Studi Ilmu Lingkungan - UI

Diterbitkan Desember 2016

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dapat diterbitkan. Seminar ini terselenggara atas kerjasama antara Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN dengan Program Studi Ilmu Lingkungan – Universitas Indonesia. Seminar dengan tema “Pengembangan IPTEK Pengelolaan Limbah yang Inovatif, Handal, Berkelanjutan dan Berwawasan Lingkungan Guna Meningkatkan Daya Saing Bangsa” telah dilaksanakan pada tanggal 5 Oktober 2016 di Gedung IASTH It.3 Universitas Indonesia, Salemba.

Seminar diselenggarakan sebagai media sosialisasi hasil penelitian dan pengembangan di bidang limbah radioaktif dan non radioaktif. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV dijadikan sebagai media tukar menukar informasi dan pengalaman, ajang diskusi ilmiah, peningkatan kemitraan di antara peneliti, akademisi, dan praktisi industri, mempertajam visi pembuat kebijakan dan pengambil keputusan, serta peningkatan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan limbah yang inovatif, handal, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Prosiding ini memuat karya tulis dari berbagai hasil penelitian mengenai pengelolaan limbah radioaktif, industri dan lingkungan. Makalah telah melalui proses evaluasi dari tim editor. Makalah dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu kelompok pengelolaan limbah, disposal, lingkungan, dan perundang-undangan. Makalah-makalah tersebut berasal dari para peneliti di lingkungan BATAN, BAPETEN dan BPPT serta dosen dan mahasiswa di lingkungan UI, UNDIP, dan UNS.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat digunakan sebagai data sekunder dalam pengembangan penelitian dimasa akan datang, serta dijadikan bahan acuan dalam kegiatan pengelolaan limbah. Akhir kata kepada semua pihak yang telah membantu, kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, Desember 2016

Kepala
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif
Badan Tenaga Nuklir Nasional

Ir. Suryantoro, MT

SUSUNAN TIM EDITOR

Ketua	:	Dr. Budi Setiawan	-	BATAN
Anggota	:	1. Dr. Sigit Santoso	-	BATAN
		2. Dr. Heny Suseno	-	BATAN
		3. Drs. Gunandjar, SU	-	BATAN
		4. Ir. Aisyah, MT	-	BATAN
		5. Dr. Djoko Hari Nugroho	-	BAPETEN
		6. Dr. Ir. Mohammad Hasroel Thayib, APU	-	UI
		7. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA	-	UI

SUSUNAN PANITIA

Pengarah	:	1. Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional	- BATAN
		2. Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan UI	- UI
Penanggung Jawab	:	Ir. Suryantoro, MT	- BATAN
Penyelenggara			
Ketua	:	Budiyono, ST	- BATAN
Wakil Ketua	:	Moch. Romli, S.ST, MKKK	- BATAN
Sekretaris	:	1. Enggartati Budhy Hendarti, A.Md	- BATAN
		2. Pricillia Azhani, STP., M.Si.	- UI
		3. Titik Sundari, A.Md	- BATAN
Anggota	:	1. Widya Handayani, SE	- BATAN
		2. Sugianto, ST	- BATAN
		3. Wezia Berkademi, SE, M.Si	- UI
		4. M. Nurhasim, S.ST	- BATAN
		5. Eri Iswayanti, A.Md	- BATAN
		6. Agustinus Muryama, ST	- BATAN
		7. Budi Arisanto, A.Md	- BATAN
		8. Azhar Firdaus, S.Sos.I, M.Si	- UI
		9. Risdiyana, A.Md	- BATAN
		10. Adi Wijayanto, ST	- BATAN
		11. Arifin Istavara, S.ST	- BATAN
		12. CH. Susiana Atmaja, A.Md	- BATAN
		13. Imam Sasmito	- BATAN
		14. Moh. Cecep Cepi H., S.ST	- UI
		15. Parjono, ST	- BATAN
		16. Siswanto	- BATAN
		17. Sariyadi	- BATAN
		18. Maulana	- BAPETEN
		19. Drs. Hendro	- BATAN
		20. Sunardi, ST	- BATAN
		21. Gatot Sumartono, ST	- BATAN
		22. Ir. Eko Madi Parmanto	- BATAN
		23. Alphana Fridia Cessna, ST., M.Si	- UI
		24. Rukiaty	- BATAN
		25. Ade Rustiadam, S.ST	- BATAN
		26. Ajrieh Setiawan, S.ST	- BATAN
		27. Suparno, A.Md	- BATAN
		28. Suhartono, A.Md	- BATAN

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Susunan Tim Editor	ii
Susunan Panitia	iii
Daftar Isi	iv
1 Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Pra-Disposal : Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks <i>Synroc</i> .. Gunandjar dan Yuli Purwanto	1
2 Pengelolaan Limbah Cair Dengan Pendekatan Konsep Eko-Efisiensi: Analisis Hubungan Antara Penerapan Program <i>Cleaner Production</i> Di Area Produksi Dengan Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	14
Wahyu Wikandari, Roekmijati Widaningroem Soemantojo, Tri Edhi Budhi Soesilo	
3 Pengolahan Limbah <i>Methylen Blue</i> Secara Fotokatalisis Dengan TiO ₂ Dimodifikasi Fe Dan Zeolit	29
Agus Salim Afrozi, Rahmat Salam, Auring R, Asep Nana S	
4. Kinerja Konsorsium Bakteri Dari Sungai Opak Yogyakarta Dalam Reduksi Nitrat Dengan Sumber Karbon Yang Berbeda	37
Hanies Ambarsari, Miswanto	
5. Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Dekontaminasi Di Instalasi Produksi Radioisotop Paska Berhenti Operasi	45
Suhaedi Muhammad, Nazaroh, Rr.Djarwanti,RPS	
6. Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Pembantu Peledakan (ANFO) Pada Kegiatan Pertambangan Batubara (Kasus Pemanfaatan Limbah Oli Bekas di PT. JMB Group)	52
Danang Widiyanto	
7. Sistem Pemurnian Helium Pada Reaktor Daya Experimental (RDE) Tipe HTR-10.....	60
Aisyah, Yuli Purwanto	
8. Pengolahan Limbah Daun Jati Kering Dari Desa Leyangan, Ungaran Menjadi Pulp Kering Dengan Proses Soda	68
Linda Kusumaningrum, Heny Kusumayanti	
9 Pembuatan Zat Warna Alami Dari Buah Mangrove <i>Spesies Rhizophora Stylosa</i> Sebagai Pewarna Batik Ramah Lingkungan Dalam Skala Pilot Plan	76
Paryanto, Wusana Agung Wibowo, Moch Helmy Aditya	
10 Konsentrasi Faktor Pada Bioakumulasi Plutonium Oleh Siput Macan (<i>Babylonia Spirata L.</i>) Di Perairan Teluk Jakarta	82
Murdahayu Makmur , Muhammad Qowi Fikri, Defri Yona, Syarifah Hikmah JS	
11. Pengaruh Koefisien Distribusi ¹³⁷ Cs Pada Keselamatan Calon Tapak Fasilitas Disposasi Limbah Radioaktif	93
Budi Setiawan, Dadang Suganda	
12. Kajian Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Menggunakan Beberapa Adsorben	105
Mirawaty, Gustri Nurliati	

13	Studi Eksperimen Difusi Boron Dalam Bentonit Terkompaksi Dalam Kondisi Reduksi Oleh Fe	113
	Mas Udi, Noria Ohkubo	
14	Pengolahan Limbah Uranium Cair Dengan Resin Anion Amberlite IRA-400 Cl Dan Imobilisasi Resin Jenuh Menggunakan Polimer	118
	Dwi Luhur Ibnu Saputra, Wati, Nurhayati	
15	Studi Pemanfaatan Zeolit Sebagai Bahan Penopang Asam Oksalat Untuk Dekontaminasi Permukaan Aluminium	124
	Sutoto	
16	Karakteristik Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Sedang Reaktor Daya Eksperimental HTR-10	129
	Kuat Heriyanto	
17	Pengembangan Penerapan Sistem Pengawasan Dalam Rangka Pencegahan Masuknya <i>Scrap Metal</i> Terkontaminasi Zat Radioaktif ke Dalam Wilayah Hukum Republik Indonesia	136
	Nanang Triagung Edi Hermawan	
18	Pengawasan Zirkon Di Indonesia	145
	Moekhamad Alfiyan	
19	Polimorfisme XPD23 Pada Pekerja Radiasi Medik	151
	Wiwin Mailana, dan Yanti Lusiyantri	
20	Pengukuran Radiasi Dan Konsentrasi <i>Naturally Occuring Radioactive Materials</i> (NORM) Pada Lahan Calon Tapak PLTU Batubara Kramatwatu Serang Banten	155
	Sucipta, Risdiana S., Arimuladi SP.	
21	Perhitungan Jumlah Limbah Paska Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung	165
	Sutoto, Kuat Heriyanto, Mulyono Daryoko	
22	Fenomena Distribusi Radionuklida Kontaminan Pada Air Kanal Fasilitas KH-IPSB3 Pasca Perbaikan Filter <i>Skimer</i>	173
	Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin	
23	Difusi Radiocesium Oleh Tanah Urugan Sebagai Bahan Penutup Fasilitas Disposal Demo di Kawasan Nuklir Serpong : Karakterisasi <i>Dry Density</i> Tanah Permukaan di Lokasi Fasilitas Disposal Demo	179
	Nurul Efri Ekaningrum, Budi Setiawan	
24	Uji Integritas Kelongsong Bahan Bakar Nuklir Bekas Reaktor Dengan Metode Uji Cicip ..	186
	Dyah Sulistyani Rahayu, Darmawan Aji	
25	Verifikasi Penggunaan Library Origen 2.1 Untuk Perhitungan Inventori Teras Reaktor Tipe HTGR 10 MWth	194
	Anis Rohanda, Jupiter S. Pane, Amir Hamzah	
26	Penentuan Densitas Boron Karbida (B ₄ C) Menggunakan Autopiknometer Dan Secara Metrologi	199
	Torowati, Mu`nisatun, S., Yatno Dwi Agus	
27	Evaluasi Pengukuran Tingkat Kontaminasi Permukaan Material Terkontaminasi Untuk Tujuan Klierens (Studi Kasus : Limbah Pelat Logam Hasil Dekomisioning Fasilitas Pemurnian Fosfat Pt. Petrokimia Gresik)	205
	Moch Romli, Mas'udi , Sugeng Purnomo, M. Nurhasyim, T. Sulistiyo H.N., Suhartono, Imam Sasmito, L. Kwin P	

28	Evaluasi Tahanan Pembumian Instalasi Penyalur Petir Pada Stasiun Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong	212
	Adi Wijayanto, Arief Yuniarto, Budihari	
29	Evaluasi Pengendalian Dosis Radiasi Pada Kegiatan <i>Dismantling</i> Dan Pengondisian Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan	217
	Suhartono, Moch Romli, Arie Budianti, Adi Wijayanto, Mahmudin	
30	Penerimaan Dosis Radiasi Sebagai Indikator Keselamatan Dalam Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Tahun 2015	224
	L.Kwin Pudjiastuti, Hendro, Suhartono, Arie Budianti	
31	Penerapan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Badan Air di Kawasan Nuklir Serpong ..	230
	Arif Yuniarto, Aepah Nurbiyanti, Ambar Winansi, Ritayanti	
32	Analisis Kegagalan Proses Pembangkit Uap Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Cair	241
	Budiyono, Sugianto	
33	Jaminan Mutu Layanan Evaluasi Dosis Perorangan Dengan <i>TLD Barc</i> di PTKMR-Batan ..	250
	Nazaroh, Rofiq Syaifudin, Sri Subandini Lolaningrum, dan Nina Herlina	
34	Perancangan Sistem Kendali <i>VAC Off-Gas</i> Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif berbasis Programable Logic Control	260
	Sugianto, Budiyono, Arifin Istavara	
35	Uji Kelayakan Operasi Genset BRV20 RSG-Gas Setelah Dilakukan Perbaikan	268
	Teguh Sulisty	
36	Analisis Sistem Ventilasi Fasilitas Produksi 131I di PTRR-BATAN.....	278
	Mulyono, Hermanto, Sofyan Sori, Sriyono	
37	Aplikasi <i>Scada</i> Dengan Media Komunikasi Nirkabel 2.4 Ghz Untuk Pengendali Operasi Fasilitas Kanal Hubung Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KHIPSB3)	283
	Parjono , Budiyono	
38	Pembuatan Dan Pengujian <i>Burner</i> Pada Tungku Peleburan Timbal Untuk Fabrikasi <i>Shielding</i> Sumber Radioaktif Bekas Terbungkus	292
	Arifin Istavara, Jonner Sitompul, Sugianto	
39	Aplikasi Reaktor Pada <i>Capacitor Bank</i> Sebagai Peredam Harmonik Catu Daya Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif	299
	Jonner Sitompul, Sugianto	

EVALUASI PENGENDALIAN DOSIS RADIASI PADA KEGIATAN DISMANTLING DAN PENGONDISIAN ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS YANG TIDAK DIGUNAKAN

Suhartono, Moch Romli, Arie Budianti, Adi Wijayanto, Mahmudin
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspipstek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
E-mail: suhartono@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI PENGENDALIAN DOSIS RADIASI PADA KEGIATAN DISMANTLING DAN PENGONDISIAN ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS YANG TIDAK DIGUNAKAN. Telah dilakukan pengendalian dosis radiasi pada kegiatan dismantling dan pengondisian zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (ZRTTD) kategori 3 – 5. Pengendalian dosis radiasi pada kegiatan dismantling dan pengondisian ZRTTD wajib dilakukan karena ZRTTD memiliki laju dosis radiasi tinggi. Kegagalan dalam pengendalian dosis radiasi pada kegiatan dismantling dan pengondisian ZRTTD dapat mengakibatkan penerimaan dosis radiasi berlebih pada pekerja radiasi yang terlibat, yang pada akhirnya dapat menyebabkan terjadinya gangguan kesehatan. Kegiatan dismantling dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 dilakukan di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR – BATAN) pada tanggal 18 – 29 Januari 2016 dengan instruktur expert International Atomic Energy Agency (IAEA). Pemantauan dosis radiasi yang diterima pekerja dilakukan dengan menggunakan thermoluminescence dosimeter (TLD) dan dosimeter personel digital yang dapat dibaca langsung. Setelah seluruh rangkaian kegiatan dismantling dan pengondisian ZRTTD selesai, dilakukan evaluasi TLD untuk mengetahui dosis efektif kumulatif yang diterima oleh pekerja radiasi. Evaluasi TLD dilakukan di laboratorium dosimetri Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan – Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PPIKSN – BATAN). Berdasarkan evaluasi TLD diperoleh data bahwa dosis efektif kumulatif tertinggi yang diterima pekerja radiasi PTLR – BATAN pada kegiatan dismantling dan pengondisian ZRTTD pada tanggal 18 – 29 Januari 2016 adalah 0,31 mSv. Nilai tersebut masih berada di bawah angka pembatas dosis yang telah ditetapkan sebesar 15 mSv per tahun atau rata-rata 0,60 mSv per 10 hari kegiatan.

Kata kunci : pengendalian, dosis, dismantling, pengondisian, ZRTTD

ABSTRACT

EVALUATION OF RADIATION DOSE CONTROL IN DISMANTLING AND CONDITIONING ACTIVITY OF DISUSED SEALED RADIOACTIVE SOURCES. Control of the radiation dose in dismantling and conditioning activity of disused sealed radioactive sources (DSRS) category 3 – 5 has been done. Control of the radiation dose on DSRS dismantling and conditioning activities must be done because DSRS has a high radiation dose rate. Failure to control the radiation dose in dismantling and conditioning activities of DSRS can lead to excessive reception radiation doses for workers involved, which in turn can cause health problems. DSRS category 3-5 dismantling and conditioning activities had been performed at the Center for Radioactive Waste Technology - National Nuclear Energy Agency (PTLR - BATAN) on 18 to 29 January 2016, with expert instructors from the International Atomic Energy Agency (IAEA). Monitoring of radiation doses received by workers is done by using thermoluminescence dosimeter (TLD) and digital personnel dosimeter that can be read directly. After DSRS dismantling and conditioning activities entire series was completed, evaluation of TLD had been done to determine the cumulative effective dose received by radiation workers. TLD Evaluation was conducted in dosimetry laboratory of Personnel Dose and Environment Monitoring Division of - Centre for Administrative Information and Strategic Nuclear Zone - National Nuclear Energy Agency (PPIKSN - BATAN). Based on the evaluation of TLD, the data shows that the highest cumulative effective doses of radiation received by workers PTLR - BATAN at DSRS dismantling and conditioning activities on 18 to 29 January 2016 was 0.31 mSv. This value is still below the dose constraint set at 15 mSv per year or an average of 0.60 mSv per 10-day event.

Keywords: controlling, dose, dismantling, conditioning, DSRS

PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah radioaktif menjadi perhatian utama dalam setiap kegiatan yang memanfaatkan zat radioaktif. Limbah radioaktif yang timbul dari pemanfaatan zat radioaktif di segala bidang harus dikelola dengan benar sesuai ketentuan yang berlaku. Hal tersebut dikarenakan

limbah radioaktif memiliki potensi bahaya radiasi yang dapat memberikan dampak negatif terhadap manusia dan lingkungannya. Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi^[1].

Salah satu jenis limbah radioaktif yang banyak ditimbulkan dari kegiatan pemanfaatan zat radioaktif di bidang industri adalah zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan (ZRTTD). ZRTTD biasanya berupa sumber terbungkus yang dikemas dalam kapsul dengan integritas tinggi dimana di dalam kapsul mengandung radionuklida spesifik dengan derajat kemurnian tinggi. ZRTTD berasal dari sumber radiasi terbungkus yang banyak digunakan untuk keperluan industri seperti iradiator, teleterapi, brakiterapi, radiografi gamma industri, *gauging* ketinggian, *gauging* ketebalan, *well logging*, dan sebagainya^[2].

Sumber radioaktif dikelompokkan menjadi 5 (lima) kategori^[3]. Kategorisasi sumber radioaktif didasarkan pada rasio A/D. A adalah aktivitas radionuklida yang terdapat dalam sumber radioaktif, sedangkan D merupakan aktivitas spesifik sumber radioaktif yang dapat menyebabkan efek deterministik yang fatal untuk skenario asumsi konservatif. Kelima kategori sumber radioaktif tersebut adalah :

- a. Kategori 1. *Extremely dangerous to the person*. Sumber radioaktif yang termasuk kategori 1 memiliki rasio $A/D \geq 1000$.
- b. Kategori 2. *Very dangerous to the person*. Sumber radioaktif yang termasuk kategori 2 memiliki rasio $1000 > A/D \geq 10$.
- c. Kategori 3. *Dangerous to the person*. Sumber radioaktif yang termasuk kategori 3 memiliki rasio $10 > A/D \geq 1$.
- d. Kategori 4. *Unlikely to be dangerous to the person*. Sumber radioaktif yang termasuk kategori 4 memiliki rasio $1 > A/D \geq 0.01$.
- e. Kategori 5. *Most unlikely to be dangerous to the person*. Sumber radioaktif yang termasuk kategori 5 memiliki rasio $0.01 > A/D \geq$ (Batas Perkecualian/D).

Tabel 1 berikut ini menunjukkan kategorisasi sumber radioaktif berdasarkan rasio A/D :

Tabel 1. Kategorisasi Sumber Radioaktif Berdasarkan Rasio A/D^[3].

Category	Source ^a and practice	Activity ratio ^b (A/D)
1	Radioisotope thermoelectric generators (RTGs) Irradiators Teletherapy sources Fixed, multi-beam teletherapy (gamma knife) sources	$A/D \geq 1000$
2	Industrial gamma radiography sources High/medium dose rate brachytherapy sources	$1000 > A/D \geq 10$
3	Fixed industrial gauges that incorporate high activity sources ^c Well logging gauges	$10 > A/D \geq 1$
4	Low dose rate brachytherapy sources (except eye plaques and permanent implants) Industrial gauges that do not incorporate high activity sources ^c Bone densitometers Static eliminators	$1 > A/D \geq 0.01$
5	Low dose rate brachytherapy eye plaques and permanent implant sources X ray fluorescence (XRF) devices Electron capture devices Mossbauer spectrometry sources Positron emission tomography (PET) check sources	$0.01 > A/D$ and $A > \text{exempt}^d$

^a Factors other than A/D alone have been taken into consideration in assigning the sources to a category (see Annex I).
^b This column can be used to determine the category of a source purely on the basis of A/D. This may be appropriate, for example, if the practice is not known or is not listed, if sources have a short half-life and/or are unsealed, or if sources are aggregated (see para. 3.5).
^c Examples are given in Appendix I.
^d Exempt quantities are given in Schedule I of Ref. [1].

Ketika sumber-sumber radioaktif terbungkus yang banyak dimanfaatkan untuk keperluan industri tersebut tidak digunakan lagi, maka harus dikelola sebagai limbah radioaktif berupa ZRTTD. Potensi bahaya radiasi dari ZRTTD ini masih tinggi karena memiliki laju paparan radiasi

relatif tinggi. Terdapat 2 (dua) opsi untuk pengelolaan limbah radioaktif berupa ZRTTD yaitu mengirim kembali ke negara asal, atau dilimbahkan ke PTLR – BATAN^[1].

PTLR sebagai unit kerja di bawah BATAN yang memiliki tugas melaksanakan

perumusan dan pengendalian kebijakan teknis, pelaksanaan, pembinaan dan bimbingan di bidang pengembangan teknologi dan pengelolaan limbah banyak menerima limbah radioaktif berupa ZRTTD dari industri, rumah sakit, dan instansi penelitian/pengembangan. Sampai

dengan tahun 2015, ZRTTD kategori 1 dan 2 yang dikelola PTLR – BATAN mencapai 30 unit. Sedangkan ZRTTD kategori 3 sampai dengan kategori 5 mencapai 2546 unit. Beberapa unit ZRTTD yang dikelola PTLR – BATAN dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 1. Beberapa jenis ZRTTD yang dikelola PTLR – BATAN.

Sebuah ZRTTD kategori 3 – 5 biasanya terdiri dari kapsul kecil berisi zat radioaktif yang memiliki derajat kemurnian tinggi dan pembungkusnya yang sekaligus berfungsi sebagai penahan radiasi. Bahan pembungkus yang banyak digunakan adalah timbal (Pb). Dimensi bahan pembungkus inilah yang menyebabkan unit ZRTTD memiliki ukuran relatif besar. Untuk efisiensi ruang penyimpanan ZRTTD yang ribuan jumlahnya dan strategi penyimpanan lestari nantinya, maka perlu dilakukan pembongkaran (*dismantling*) terhadap setiap unit ZRTTD tersebut. Kapsul-kapsul kecil berisi sumber radioaktif selanjutnya dimasukkan ke dalam kapsul *stainless steel* (SS) yang memiliki diameter 5 cm dan tinggi 12,5 cm. Setiap kapsul SS berisi 1 (satu) jenis radionuklida. Selanjutnya kapsul-kapsul SS dipengondisian ke dalam *shell* drum 200 L yang terbuat dari drum baja 200 L dengan pipa pralon 5” di tengahnya, dan cor beton di antara pipa pralon dengan drum baja 200 L.

Pertimbangan utama dalam kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD adalah pengendalian dosis radiasi yang diterima pekerja yang terlibat. Hal ini mengingat ZRTTD memiliki laju paparan radiasi relatif tinggi. Tanpa upaya pengendalian dosis radiasi yang tepat, pekerja *dismantling* dan pengondisian ZRTTD berpotensi menerima dosis radiasi berlebih. Penerimaan dosis radiasi melebihi ketentuan berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kesehatan pekerja yang dapat berupa munculnya efek deterministik dan meningkatnya probabilitas terjadinya efek stokastik.

Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir telah menetapkan batasan dosis efektif yang boleh diterima pekerja radiasi^[4] :

- Dosis Efektif rata-rata sebesar 20 mSv (duapuluh milisievert) per tahun dalam periode 5 (lima) tahun, sehingga Dosis yang terakumulasi dalam 5 (lima) tahun tidak boleh melebihi 100 mSv (seratus milisievert).
- Dosis Efektif sebesar 50 mSv (limapuluh milisievert) dalam 1(satu) tahun tertentu.

Perka BAPETEN tersebut juga menetapkan bahwa untuk memenuhi optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi, Pemegang Izin harus menetapkan nilai pembatas dosis dengan persetujuan Kepala BAPETEN. Besarnya pembatas dosis yang ditetapkan tidak boleh melampaui nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan oleh Kepala BAPETEN. Dengan demikian pada setiap kegiatan yang menggunakan zat radioaktif dan atau sumber radiasi, harus diupayakan pekerja yang terlibat menerima dosis radiasi yang serendah-rendahnya dan tidak melebihi nilai pembatas dosis yang sudah ditetapkan. Target dosis radiasi seminimal mungkin tersebut dapat dicapai melalui penerapan teknik proteksi radiasi yang tepat.

PTLR – BATAN pada tanggal 18 – 29 Januari 2016 telah melakukan *dismantling* dan pengondisian sebanyak 262 unit ZRTTD kategori 3 – 5. Kegiatan tersebut dilaksanakan dengan instruktur 3 (tiga) orang *expert* IAEA berasal dari

Kuba. Untuk mengendalikan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja yang terlibat, telah dilakukan upaya proteksi radiasi meliputi penggunaan *shielding* (penahan) radiasi, pengaturan jarak, dan pengaturan waktu kerja. Dengan menerapkan teknik proteksi radiasi tersebut diharapkan dosis efektif yang diterima oleh pekerja pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 tidak melebihi pembatas dosis yang telah ditetapkan oleh Kepala PTLR sebesar 15 mSv per tahun atau rata-rata 0,60 mSv per 10 hari kegiatan^[5]. Dalam makalah ini akan dibahas teknik proteksi radiasi yang digunakan, pemantauan dosis secara langsung untuk mengatur penerimaan dosis, dan hasil evaluasi *thermoluminescence dosimeter* (TLD) untuk mengetahui dosis efektif kumulatif yang diterima pekerja pada kegiatan ini^[6].

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengevaluasi langkah-langkah pengendalian dosis radiasi pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD. Hasil evaluasi tersebut, dapat digunakan sebagai pembelajaran untuk kegiatan-kegiatan sejenis di waktu yang akan datang.

METODOLOGI

Upaya pengendalian dosis radiasi pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 dilakukan sejak tahapan persiapan, pada saat kegiatan berlangsung, dan setelah kegiatan *dismantling* dan pengondisian selesai dilakukan. Pada tahapan persiapan, dilakukan kajian dosis yang mungkin diterima oleh pekerja radiasi. Sebagai sumber radiasi diambil ZRTTD kategori 3 *Berthold LB 7400* karena jenis inilah yang paling banyak jumlahnya. Laju dosis dihitung menggunakan *software Rad Pro Calculator Version 3.26*. Dari tahapan ini dapat

dirancang kondisi kerja yang diinginkan agar memenuhi persyaratan proteksi radiasi.

Pada saat kegiatan *dismantling* dan pengondisian berlangsung, pemantauan dosis eksternal seluruh tubuh secara kumulatif dilakukan dengan menggunakan TLD yang dikenakan oleh setiap pekerja. Sedangkan untuk tujuan pengendalian dosis harian, dilakukan berdasarkan pemantauan dosis menggunakan dosimeter personel digital dan dosimeter pena yang dapat dibaca langsung. Dari tahapan ini dapat diketahui pekerja yang mendapatkan dosis radiasi melebihi nilai pembatas dosis harian sehingga perlu dilakukan pengaturan/rotasi jenis pekerjaan.

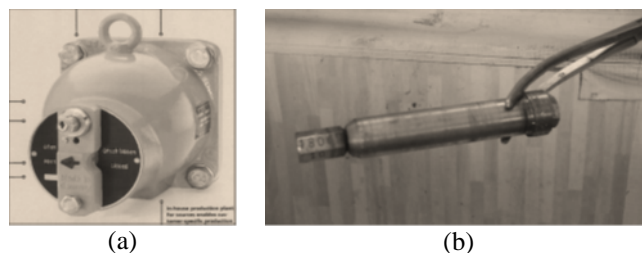
Setelah kegiatan *dismantling* dan pengondisian selesai, dilakukan evaluasi TLD dan pemantauan kemungkinan adanya radiasi internal menggunakan *Whole Body Counter* (WBC). Evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal menggunakan WBC dilakukan di laboratorium dosimetri Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan, PPIKSN – BATAN. Data dosis inilah yang digunakan untuk pencatatan riwayat dosis yang diterima pekerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian laju dosis terhadap ZRTTD

ZRTTD kategori 3 yang banyak dilimbahkan ke PTLR – BATAN adalah *level gauge* dari *Berthold System Inc, Model LB 7400*^[7]. Salah satu ZRTTD jenis ini yang relatif baru, memiliki karakteristik sumber sebagai berikut :

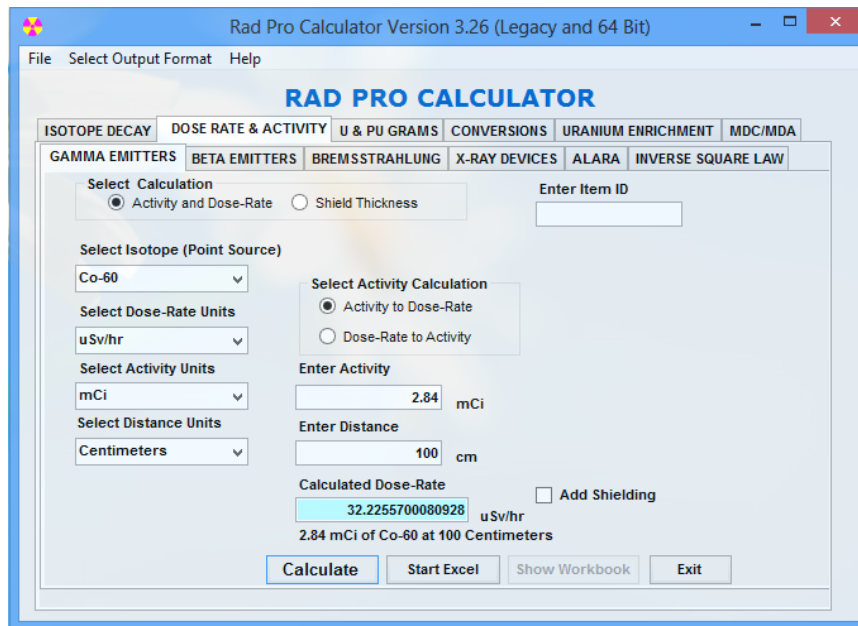
1. Jenis radionuklida : ^{60}Co
2. Aktivitas awal : 12 mCi (= 0,45 GBq)
3. Tanggal referensi : 01 Februari 2005
4. Tanggal *dismantling* : 20 Januari 2016
5. Aktivitas saat *dismantling* : 2,84 mCi (= 0,10 GBq).



Gambar 2. ZRTTD *Berthold LB 7400* (a) dan kapsul sumber radioaktif ^{60}Co (b).

Setelah dilakukan pembongkaran sehingga kondisinya menyerupai gambar 3 (b), laju dosis sumber radioaktif dapat diperkirakan menggunakan *software Rad Pro Calculator Version 3.26*.

Perhitungan menggunakan *software Rad Pro Calculator Version 3.26* pada Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa laju dosis radiasi pada jarak 1 m dari permukaan ZRTTD *Berthold LB 7400* adalah 32,23 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Angka ini melebihi batasan laju dosis aman sebesar 10 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ^[8].



Gambar 3. Pengkajian laju dosis ZRTTD *Berthold LB 7400* menggunakan *software Rad Pro Calculator Version 3.26*.

Untuk pekerjaan berulang *dismantling* dan pengondisian ZRTTD sejenis *Berthold LB 7400* yang jumlahnya mencapai ratusan unit tanpa menggunakan penahan radiasi, jelas akan memberikan dosis berlebih kepada pekerja yang terlibat. Untuk itu diperlukan penahan radiasi berupa *leadbrick* dari bahan timbal (Pb) di lokasi kegiatan yang bersentuhan langsung dengan sumber radioaktif hasil pembongkaran seperti di lokasi identifikasi sumber radioaktif dan pengondisian sumber radioaktif dalam kapsul S.S. Kajian laju dosis terhadap ZRTTD *Berthold LB 7400* menggunakan *software Rad Pro Calculator Version 3.26*, pada jarak 1 m dari

permukaan sumber dan menggunakan penahan radiasi Pb setebal 5 cm menghasilkan laju dosis sebesar 2,33 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Dengan nilai laju dosis sebesar 2,33 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$, maka diharapkan batasan dosis efektif kumulatif yang akan diterima oleh pekerja tidak akan terlampaui.

Pengendalian dosis radiasi pada saat kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD

Untuk mengendalikan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja, digunakan teknik-teknik proteksi radiasi meliputi penggunaan penahan radiasi (*shielding*), pengaturan jarak, dan pengaturan waktu/rotasi pekerja.



Gambar 4. Penggunaan *leadbrick* setebal 5 cm dan penjepit panjang (*long tang*) untuk meminimasi dosis radiasi yang diterima.

Dosis eksterna seluruh tubuh secara kumulatif ($H_p 10$) yang diterima pekerja dipantau menggunakan TLD yang dikenakan oleh setiap pekerja radiasi. Untuk tujuan pemantauan dosis harian, digunakan dosimeter personel digital dan dosimeter pena yang dapat dibaca secara langsung. Dosimeter personel digital digunakan untuk memantau dosis eksterna seluruh tubuh, sedangkan dosimeter pena digunakan untuk memantau dosis radiasi yang mengenai tangan/kulit. Dari kegiatan

pemantauan dosis harian ini dapat diketahui pekerja yang menerima dosis melebihi pembatas dosis harian. Dengan demikian pada hari berikutnya, dapat diatur waktu dan kondisi kerja agar pekerja tersebut tidak mendapat dosis yang melebihi nilai pembatas dosis harian dalam 2 (dua) hari berturut-turut. Sehingga pada akhir kegiatan (10 hari kerja), dosis efektif kumulatif yang diterima oleh setiap pekerja yang terlibat tidak melebihi $0,60 \text{ mSv} (= 600 \mu\text{Sv})^{[5]}$.

Tabel 2. Pemantauan dosis eksterna seluruh tubuh harian menggunakan dosimeter personel digital.

NO	PETUGAS	PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA ($H_p 10$) HARIAN MENGGUNAKAN DOSIMETER DIGITAL (μSv)										
		18/01	19/01	20/01	21/01	22/01	25/01	26/01	27/01	28/01	29/01	TOTAL
1	A	0	3	30	33	0	9	55	35	13	0	178
2	B	0	6	56	74	0	37	54	25	58	0	310
3	C	0	7	13	33	0	8	19	12	15	0	107
4	D	0	7	83	33	0	88	92	43	0	0	346
5	E	0	7	116	24	0	58	21	58	58	0	342
6	F	0	7	56	24	0	58	92	19	5	0	261
7	G	0	7	56	7	0	18	63	58	27	0	236
8	H	0	0	0	14	0	22	29	13	58	0	136
9	I	0	2	68	12	0	16	14	8	0	0	120
10	J	0	7	0	14	0	48	83	28	0	0	180
11	K	0	7	22	15	0	16	14	8	5	0	87
12	L	0	2	29	8	0	16	6	8	8	0	77
13	M	0	1	14	9	0	13	9	16	18	0	80
14	N	0	7	30	33	0	18	14	24	21	0	147
15	O	0	0	0	0	0	50	38	35	21	0	144
16	P	0	2	80	33	0	23	52	73	21	0	284

Berdasarkan data pada Tabel 2 di atas, terlihat bahwa dosis efektif yang diterima pekerja pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 pada tanggal 18 – 29 Januari 2016 dalam kondisi terkendali. Terdapat beberapa pekerja yang pada hari tertentu menerima dosis eksterna seluruh tubuh melebihi nilai pembatas dosis harian sebesar $60 \mu\text{Sv}$ namun setelah dilakukan upaya pengaturan waktu dan kondisi kerja, pada hari berikutnya tidak menerima dosis yang melebihi nilai pembatas dosis harian. Demikian pula secara kumulasi, hasil pemantauan dosis eksterna harian pada masing-masing pekerja yang terlibat tidak melebihi nilai pembatas dosis untuk 10 hari kegiatan sebesar $0,60 \text{ mSv} (= 600 \mu\text{Sv})^{[5]}$.

Pemantauan dosis ekivalen pada tangan/kulit menggunakan dosimeter pena menunjukkan dosis ekivalen kumulatif tertinggi sebesar $1,11 \text{ mSv} (= 1110 \mu\text{Sv})$. Nilai dosis ekivalen untuk tangan/kulit ini tidak melebihi nilai batas dosis (NBD) untuk tangan/kulit yang telah ditetapkan oleh Kepala BAPETEN sebesar

500 mSv per tahun atau rata-rata 20 mSv per 10 hari kegiatan^[4].

Hasil evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal

Pemantauan dosis eksterna seluruh tubuh harian menggunakan dosimeter personel digital yang dapat dibaca langsung bertujuan untuk mengatur/ mengendalikan dosis radiasi yang diterima oleh pekerja pada saat melakukan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5. Sedangkan dosis efektif kumulatif pada periode tertentu yang diterima oleh pekerja radiasi diperoleh dari hasil evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal. Data dari hasil evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal inilah yang kemudian digunakan untuk pencatatan riwayat dosis yang diterima setiap pekerja radiasi. Evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal pekerja radiasi PTLR – BATAN dilakukan di laboratorium dosimetri Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan, PPIKSN – BATAN. Berdasarkan pemantauan radiasi internal menggunakan *WBC* terhadap

pekerja radiasi PTLR yang terlibat dalam kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 pada tanggal 18 – 29 Januari 2016, tidak didapati adanya kontaminasi zat radioaktif secara internal. Sedangkan dosis efektif tertinggi yang diterima oleh pekerja adalah 0,31 mSv (= 310 μ Sv). Nilai dosis efektif tersebut tidak melebihi nilai pembatas dosis yang berlaku di PTLR sebesar 15 mSv per tahun atau rata-rata 0,60 mSv (= 600 μ Sv) untuk kegiatan selama 10 hari kerja^[5].

KESIMPULAN

Upaya pengendalian dosis radiasi pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 pada tanggal 18 – 29 Januari 2016 di PTLR – BATAN telah berhasil dilakukan dengan baik. Upaya pengendalian dosis radiasi tersebut dimulai sejak tahap persiapan berupa pengkajian laju dosis; tahapan pelaksanaan dengan menerapkan teknik proteksi radiasi meliputi penggunaan penahan (*shielding*) radiasi, pengaturan jarak, dan pengaturan waktu/rotasi pekerja; dan tahapan pasca kegiatan berupa evaluasi TLD dan pemantauan radiasi internal.

Keberhasilan upaya pengendalian dosis radiasi pada kegiatan *dismantling* dan pengondisian ZRTTD kategori 3 – 5 ditandai dengan tidak adanya pekerja yang mendapatkan dosis radiasi berlebih. Dosis efektif tertinggi yang didapatkan pekerja adalah 0,31 mSv (= 310 μ Sv). Nilai dosis efektif ini jauh di bawah nilai pembatas dosis di PTLR - BATAN yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 15 mSv per tahun atau rata-rata 0,60 mSv (= 600 μ Sv) per 10 hari kegiatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada rekan-rekan petugas *dismantling* dan pengondisian ZRTTD, seluruh staf Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan (BPDPL) – Pusat

Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN), serta manajemen PTLR – BATAN sehingga kegiatan ini dapat terlaksana dengan lancar dan selamat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, (2013).
2. Anonim, *IAEA-TECDOC-1690 Review of Sealed Source Designs and Manufacturing Techniques Affecting Disused Source Management*, (2012) 2 – 20.
3. Anonim, *IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.9 Categorization of Radioactive Sources*, (2005) 4 – 33.
4. Anonim, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, (2013).
5. Anonim, Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) PTLR – BATAN, (2015).
6. Toto Trikasjono, dkk., Studi Penerimaan Dosis Eksterna pada Pekerja Radiasi di Kawasan BATAN Yogyakarta, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, STTN – BATAN Yogyakarta 25 – 26 Agustus 2008.
7. Anonim, *IAEA - Technical Manual on Dismantling Industrial Gauges, Recovering and Conditioning of Associated Radioactive Sources, Version : V03.f*, (2015) 71 – 81.
8. Anonim, Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, Revisi 1, Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong, (2011) 43 - 63.