

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, Risdiyana 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	

FENOMENA DISTRIBUSI RADIONUKLIDA KONTAMINAN PADA AIR KANAL FASILITAS KH-IPSB3 PASCA PERBAIKAN FILTER SKIMER

Titik Sundari, Darmawan Aji, Arifin

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
E-mail: titiks@batan.go.id

ABSTRAK

FENOMENA DISTRIBUSI RADIONUKLIDA KONTAMINAN PADA AIR KANAL FASILITAS KH-IPSB3 PASCA PERBAIKAN FILTER SKIMER. Kolam IPSB3 sampai saat ini baru digunakan untuk menyimpan sementara bahan bakar nuklir bekas dari Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy, sedangkan kanal hubung digunakan untuk transfer bahan bakar nuklir bekas maupun material teriradiasi lainnya baik dari IRM dan IPR (PT. INUKI). Kolam dan kanal berisi air pendingin yang juga berfungsi untuk menahan radionuklida dari BBNB untuk menghindari lepasan radionuklida ke lingkungan. Kualitas air kolam dan kanal dijaga dengan mengoperasikan sistem purifikasi/pemurnian air dengan resin penular ion dan pemurnian air permukaan dengan alat filter skimer yang dioperasikan secara terapan dan dapat dipindahkan. Evaluasi yang dilakukan yaitu kadar radionuklida di air permukaan air kanal dibandingkan dengan kain filter skimer penyaringnya di kanal hubung. Hal ini diperlukan karena setelah adanya kerusakan filter skimer dan tidak beroperasi selama 18 Nopember 2015 sampai dengan 10 Mei 2016, permukaan air kanal terlihat kotor dengan debris yang menggumpal dan melayang di air permukaan. Sampel air permukaan dan kain filter penyaringnya kemudian dianalisis kandungan radionuklidanya menggunakan spektrometri gamma. Dari hasil analisis radionuklida dalam air permukaan menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida I-133 di 2 titik, dan I-132 di 1 titik, dengan konsentrasi tertinggi I-133 sebanyak $2,7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$. Hasil analisis radionuklida dalam air kanal hubung di bagian dalam juga menunjukkan radionuklida I-133 dengan konsentrasi sebanyak $5,86 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$. Sedangkan hasil analisis kain filter yang digunakan untuk pemurnian dengan penyaringan air permukaan dideteksi adanya radionuklida Cs-137 dan Co-60 saja dengan aktivitas masing-masing $1,44 \times 10^{-2}$ dan $2,00 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$. Hal ini kemungkinan karena radionuklida Cs-137 dan Co-60 yang awalnya di bawah batas deteksi alat analisis, terakumulasi dalam kain filter skimer karena memiliki kecenderungan menempel pada kotoran/debris yang melayang di permukaan air kanal hubung. Sedangkan radionuklida I-133 dan I-132 yang terdeteksi di permukaan air maupun bagian dalam air kanal hubung tidak terdeteksi di kain filter dimungkinkan karena aktivitasnya yang sudah meluruh karena mempunyai waktu paro pendek berturut-turut yaitu 20 jam dan 137 menit. Dari evaluasi ini juga dapat disimpulkan bahwa pengoperasian filter skimer untuk pemurnian air permukaan di kanal hubung sangat besar pengaruhnya dalam memurnikan air kanal hubung secara keseluruhan karena radionuklida kontaminan berumur panjang yaitu Cs-137 dan Co-60 yang merupakan parameter penting kualitas air kanal dapat terakumulasi di kain filter skimer.

Kata Kunci : BBNB, KH-IPSB3, analisis radioaktivitas, air permukaan kanal, kain filter skimer.

ABSTRACT

DISTRIBUTION PHENOMENON RADIONUCLIDE CONTAMINANTS IN WATER CHANNEL OF TC-ISSF AFTER SKIMER FILTER ADJUSTMENT. ISSF pond storage now only used to temporarily store spent nuclear fuel from Multipurpose Reactor GA. Siwabessy, while the circuit channels used to transfer spent nuclear fuel and other irradiated material both IRM and IPR (PT. Inuki). Pond and canal filled with water cooling which also serves to hold radionuclides from BBNB to avoid detachment of radionuclides into the environment. Water quality in pond and canal maintained by operating a system of purification / purification of water with an ion exchange resin and the surface water purification filter skimer operated floating and moveable. Evaluations were done that the levels of radionuclides in surface water canal water compared with filters cloth skimer in the canal. This is necessary because once the damage skimer filter and do not operate from 18 November 2015 until May 10, 2016, the surface of the canal water looks dirty with debris and floated on the water surface. Surface water samples and filter cloth then analyzed the content of radionuclides using gamma spectrometry. From the analysis of radionuclides in surface water showed contamination radionuclides I-133 at two points, and I-132 at one point, with the highest concentration of I-133 as much as $2.7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{ml}$. The results of the analysis of radionuclides in water circuit in the inside channels also showed radionuclide I-133 at a concentration as much as $5,86 \times 10^{-5} \mu\text{Ci} / \text{ml}$. While the results of the analysis of filters cloth used for water purification, filtration surface detected radionuclides Cs-137 and Co-60 course with the activities of each of 1.44×10^{-2} and $2.00 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$. This is likely because the radionuclides Cs-137 and Co-60 were initially below the detection limit of analysis tools, accumulates in the filter cloth skimer because it has a tendency to stick to the dirt / debris that float on the surface of the canal water. While the radionuclide I-133 and I-132 were detected on the surface of the water and the inside of the canal water circuit is not detected in the filter cloth is possible, as the activity that has been decaying because it has a short half time that is 20 hours and 137 minutes. From this evaluation also concluded that operation of the filter skimer for the purification of surface water in the canal circuited has a great

effect in purifying the water channel circuit as a whole because of radionuclide contaminants long-lived that Cs-137 and Co-60 is an important parameter of quality canal water can accumulate in skimer filter cloth.

Keywords: SNF, TC-ISSF, radioactivity analysis, surface water canals, skimer filter cloth.

PENDAHULUAN

Pada operasi Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-GAS), bahan bakar nuklir dikeluarkan dari reaktor setelah mencapai nilai ekonomisnya, dan menjadi bahan bakar nuklir bekas (BBNB). Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) mengandung radionuklida (unsur radioaktif) yaitu: sisa uranium (U), trans-uranium (TRU), dan radionuklida dari produk fisi, serta produk teraktivasi lainnya. BBNB menghasilkan panas dan radiasi peluruhan radionuklida, yang disimpan dalam kolam reaktor sementara untuk pendinginan selama minimal 100 hari. BBNB dipindahkan ke Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (IPSB3) melalui Kanal Hubung (KH) yang berisi air dan kemudian BBNB diletakkan pada rak di posisi lantai kolam IPSB3. Dalam hal ini air berfungsi sebagai *shielding* untuk mengurangi paparan radiasi selama pemindahan BBNB.

Kualitas air kolam dan kanal merupakan parameter yang sangat penting untuk dipantau karena air tersebut kontak langsung dengan BBNB yang disimpan. Kontaminasi zat radioaktif dalam air kolam dan kanal dicegah untuk keselamatan pekerja, peralatan, dan lingkungan. Untuk menjaga kualitas air kolam dan kanal, dilakukan operasi sistem purifikasi air dengan menggunakan sistem penukar ion yang mampu menyerap unsur-unsur radionuklida dan ion-ion pengotor lainnya yang terdapat di dalam air. Sistem purifikasi air ini mempunyai input dari bagian dalam air kolam maupun kanal, sementara ketinggian air kolam dan kanal adalah sekitar 6,35 m. Sistem purifikasi ini kurang optimal untuk menyerap kotoran atau debris yang terdapat di permukaan air, sehingga dilakukan operasi filter skimer yang khusus untuk memurnikan air permukaan. Prinsip kerja dari filter skimer yaitu dengan beroperasi secara terapung, menyedot air permukaan menggunakan pompa kemudian dimasukkan ke dalam kain filter yang berbentuk kantong sehingga kotoran/debris permukaan air akan menempel di bagian dalam kain filter, sedangkan air bersih akan meresap keluar kembali ke kolam/kanal. Filter skimer ini dapat dipindahkan untuk menjangkau setiap permukaan air terdapat kotoran/debris. Mulai pada tanggal 18 Nopember 2015, filter skimer kanal hubung terjadi kerusakan bagian pompa sehingga tidak dapat beroperasi memurnikan air kanal hubung. Filter skimer ini kemudian selesai diperbaiki dan dapat beroperasi kembali pada tanggal 11 Mei 2016.

Selama filter skimer tidak beroperasi, terlihat ada kotoran yang melayang-layang mengumpul di permukaan air kanal hubung dan tidak ditemukan di bagian dalam air kanal hubung. Sebelum dioperasikan filter skimer, dilakukan pengambilan sampel di 5 titik area kanal untuk dianalisis kandungan radionuklidanya dan dibandingkan dengan kain filter skimer yang digunakan untuk menyaring kotoran permukaan tersebut.

Ruang lingkup kegiatan ini meliputi pengambilan sampel air permukaan dan dalam kanal hubung, pengambilan sampel kain filter skimer kanal hubung, analisis jenis dan konsentrasi radionuklida dalam sampel air permukaan dan dalam kanal hubung serta pada kain filter skimer kanal hubung. Kegiatan ini bertujuan untuk membandingkan radionuklida kontaminan yang terdapat di air dengan yang terdapat di kain filter skimer penyaringnya sehingga juga dapat diketahui pengaruh pengoperasian filter skimer terhadap kualitas air kanal hubung secara keseluruhan.

TEORI

Kanal hubung menghubungkan tiga instalasi yaitu Instalasi Radio Metalurgi (IRM), Instalasi Produksi Radioisotop (IPR) dan Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-G.A.S) dan juga berfungsi sebagai jalur pemindahan material teriradiasi. Kolam penyimpanan berukuran panjang x lebar x kedalaman: 14m x 5m x (-6,5 m), dan berisi air pendingin sedalam 6,3 m. Kapasitas kolam penyimpanan ini mampu menyimpan 1458 BBNB [1].

IPSB3 memiliki konstruksi kolam yang berisi air bebas mineral berfungsi untuk pendinginan, proteksi radiasi, dan penahanan radionuklida dari BBNB untuk menghindari lepasan radionuklida ke lingkungan. Kualitas air kolam dijaga dengan mengoperasikan sistem purifikasi/pemurnian air dengan resin penukar ion. Sistem pendingin air dari IPSB3 dirancang untuk membuang panas sehingga suhu air kolam selalu kurang dari 35°C. Ventilasi dan pendingin udara sistem (VAC *off gas*) dioperasikan untuk menjaga suhu konstan udara 20-25 °C dan kelembaban relatif 40-60%, ruang tekanan negatif dari 100 + 25 Pa, dengan pembaharuan udara 5 kali per jam [2].

Elemen bakar yang digunakan di RSG-GAS adalah elemen bakar tipe *Material Testing Reactor* (MTR) dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75 %. Ada dua jenis elemen bakar yang selama ini digunakan di RSG-GAS yaitu

bahan bakar oksida U_3O_8 -Al dan bahan bakar silisida U_3Si_2 - AL. Elemen bakar jika diiradiasi akan menghasilkan sejumlah radionuklida hasil fisi. Nuklida hasil fisi yang terbentuk disamping dapat tetap terjebak di dalam matrik elemen bakar juga dapat lepas keluar dari matrik elemen bakar. Di antara nuklida hasil fisi yang paling mudah lepas adalah golongan gas mulia [3].

Saat ini ada 245 bundel BBNB tersimpan di IPSB3. Kondisi batas untuk operasi normal kolam penyimpanan bahan bakar nuklir bekas berdasarkan pada Sistem Operasi dan Proses dalam dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) KH-IPSB3 adalah sebagai berikut [4]:

- Kapasitas Maksimal BBNB yang dapat didinginkan (kapasitas penuh) yaitu 1458 bundel;
- Tinggi permukaan air kolam pada kapasitas penuh minimal 3,6 dari permukaan BBNB;
- Temperatur kolam penyimpanan maksimal sebesar $35\text{ }^\circ\text{C}$;
- pH berkisar 5,5 – 7,5 ;
- Konduktivitas air lebih kecil daripada $15\text{ }\mu\text{S/cm}$;
- Kontaminasi udara lebih kecil daripada $5,3.10^2\text{ Bq/m}^3$.

Kontaminasi radionuklida terdiri dari tiga jenis kontaminan adalah: radionuklida dari produk fisi, radionuklida dari aktivasi produk korosi, dan radionuklida dari aktinida (uranium dan trans-uranium). Kontaminasi uranium dan trans-uranium (TRU) ke dalam air dapat terjadi ketika kelongsong bahan bakar rusak (pecah atau retak) sehingga kebocoran dan melepaskan ke dalam sistem pendingin air [5].

Radionuklida Cs-137 dan Sr-90 merupakan produk fisi yang penting untuk dipantau karena memiliki paruh yang panjang (masing-masing 30,17 tahun dan 28,8 tahun), sehingga radionuklida tersebut merupakan kontributor utama yang terkandung dalam BBNB. Cs-137 dengan pemancar gamma kuat sehingga sangat mudah untuk dianalisa menggunakan Spektrometri Gamma. Kelarutan Cs-137 dengan dalam air tinggi, sehingga Cs-137 dengan mudah ditransfer ke dalam siklus sistem pendingin air. Pada Tabel 1, radionuklida Sr-90 tidak terdeteksi karena radionuklida ini murni β -emiter sehingga tidak dapat dideteksi dengan menggunakan Spektrometer Gamma. Dalam suhu tinggi, Cs-137 dan Sr-90 adalah isotop stabil dan relatif mudah untuk meredakan dan dapat menembus kelongsong bahan bakar nuklir, sehingga kedua isotop dapat lepas ke dalam air

pendingin primer reaktor sebagai kontaminan dan bergerak sampai ke air pendingin sistem kanal dan kolam KH-IPSB3 [5].

METODOLOGI

Peralatan dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat filter skimer dan perangkat spektrometri gamma.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

- Botol Sampel volume 500 mL
- Ember ukuran 20 liter
- Kain filter skimer sesuai disain skimer.
- Nitrogen cair untuk keperluan analisis.
- Gas Nitrogen untuk keperluan analisis.

Metode

1. Pengambilan Sampel Air Permukaan

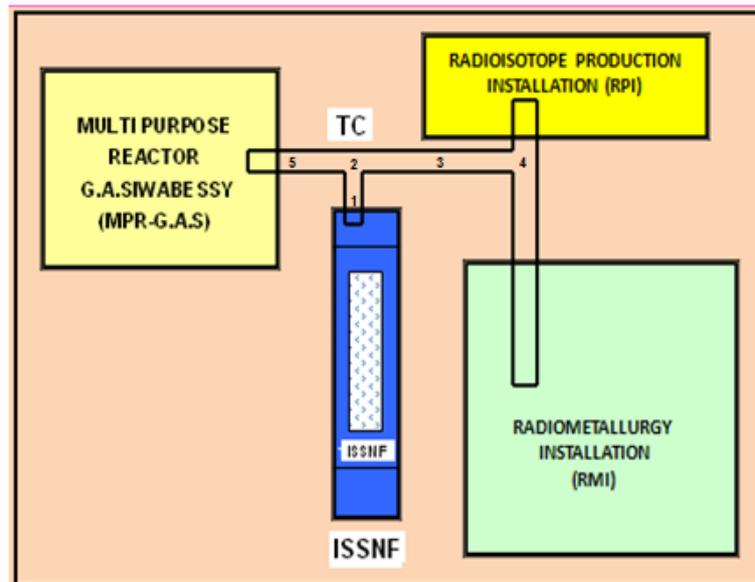
Sampel air permukaan kanal diambil di 5 titik yaitu Titik 1 pada area kanal dekat dengan kolam, Titik 2 pada area kanal di pertigaan antara arah kolam-RSG-IRM, Titik 4 pada area kanal diantara IRM dengan IPR, Titik 3 pada area pertengahan diantara Titik 2 dan 4, Titik 5 pada area kanal arah RSG.

2. Penyiapan Sampel Filter Skimer Kanal

Kain filter skimer yang disiapkan untuk dianalisis adalah kain filter skimer yang dipasang pada operasi alat skimer kanal pada saat pengambilan sampel air permukaan sampai dengan kain filter jenuh. Penyaringan dilakukan 6 jam pada setiap hari kerja.

3. Analisis Sampel Air dan Kain Filter

Sampel air kanal masing-masing sebanyak 500 mL dan kain filter dikirim ke laboratorium analisis Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) untuk dianalisis kandungan radionuklidanya. Analisis kadar radionuklida pada sampel air kanal maupun kain filter kanal dilakukan menggunakan spektrometer gamma tipe ORTEC dengan detektor Hp-Ge dan software MCA (Multy Channel Analyzer) untuk mendapatkan hasil analisis secara kuantitatif. Sistem dilengkapi dengan program gamma vision untuk mendapatkan hasil analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Pencacahan radionuklida dilakukan selama 1 jam. Kurva efisiensi yang dipakai yaitu pada energi 200 sampai dengan 1400 keV menggunakan sumber standar Eu-152 cair. Alat spektrometer gamma yang digunakan untuk analisis ini mempunyai batas limit deteksi $1 \times 10^{-8}\text{ }\mu\text{Ci/mL}$.



Gambar 1. Titik Sampling Air Permukaan Sepanjang Kanal Hubung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan sampel air permukaan kanal dilakukan pada saat sebelum dilakukan penyaringan air kanal menggunakan filter skimer di 5 (lima) titik pada area kanal pada tanggal 10 Mei 2016. Sedangkan kain filter penyaring air kanal dipasang pada alat penyaring air permukaan (skimer) yang dioperasikan mulai tanggal 11 Mei 2016 sampai dengan 31 Mei 2016. Pengoperasian skimer penyaring air permukaan kanal ini dilakukan selama 6 jam setiap hari kerja, sehingga total jam operasi

skimer adalah 90 jam. Skimer kanal dioperasikan secara terapan dan dapat dipindahkan di sepanjang Kanal Hubung. Kotoran permukaan air disedot dengan pompa air dan dilewatkan pada sebuah kantong filter terbuat dari kain. Pengambilan kain filter penyaring dilakukan pada saat kondisi sudah jenuh yang ditandai dengan permukaan kain filter yang sudah penuh dengan kotoran dan tidak dapat melewatkan air kanal yang disaring. Alat skimer dan kegiatan penggantian kain filter skimer di kanal hubung ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alat Skimer Penyaring Air Permukaan Kanal Hubung

Analisis kadar radionuklida pada sampel air kanal maupun kain filter kanal dilakukan menggunakan spektrometer gamma dengan detektor Hp-Ge dan software MCA (*Multy Channel Analyzer*). Pencacahan dilakukan selama 1 jam. Kalibrasi energi pada MCA dilakukan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi channel menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Dengan kalibrasi energi dapat diidentifikasi jenis nuklida berdasarkan energi

gamma karakteristik yang dimiliki masing-masing radionuklida. Untuk melakukan kalibrasi energi digunakan sumber standar tunggal, antara lain Ba-137, Co-60, Cs-137. Kemudian dilakukan kalibrasi efisiensi untuk mengetahui efisiensi cacahan detektor dari energi gamma yang dipancarkan masing-masing radionuklida. Nilai efisiensi cacahan detektor yang diperoleh untuk masing-masing energi gamma selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi

nuklida di dalam cuplikan. Untuk dapat melakukan kalibrasi efisiensi dibutuhkan sumber standar dengan kondisi pencacahan yang sama, yaitu wujud, geometri, energi gamma yang dipancarkan, dan waktu pencacahan yang sama dengan pencacahan cuplikan. Kalibrasi efisiensi yang dilakukan menggunakan material standar cair Eu-152 cair yang merupakan nuklida pemancar gamma multi energi. Material standar digunakan untuk membuat grafik efisiensi

sebagai fungsi energi. Nilai efisiensi ini dapat digunakan untuk menghitung konsentrasi masing-masing nuklida yang teridentifikasi. Hasil analisis radionuklida yang terkandung dalam air permukaan kanal fasilitas KH-IPSB3 ditunjukkan pada **Tabel 1.**, sedangkan hasil analisis radionuklida yang terkandung dalam kain filter penyaring air permukaan kanal ditunjukkan pada **Tabel 2.**

Tabel 1. Hasil Analisis Radionuklida Air Permukaan Kanal Hubung

No.	No. Sampel	Radionuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/mL}$)	Waktu paro	Keterangan
1.	1	I-133	$2,7 \times 10^{-4}$	20 jam	Hasil belah
2.	2	ttd	-	-	-
3.	3	I-133	$5,0 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil belah
4.	4	I-132	$1,5 \times 10^{-5}$	137 menit	Hasil belah
5.	5	ttd	-	-	-

Ttd = tidak terdeteksi/di bawah batas deteksi alat
 Batas deteksi alat = $1 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/mL}$

Tabel 2. Hasil Analisis Radionuklida Kain Filter Kanal

No.	Radionuklida	Aktivitas (μCi)	Waktu paro	Keterangan
1.	Cs-137	$0,0144 = 1,44 \times 10^{-2}$	30,18 tahun	Hasil belah
2.	Co-60	$0,0020 = 2,00 \times 10^{-3}$	5,3 tahun	Hasil aktivasi produk korosi

Tabel 3. Hasil Analisis Radionuklida Pada Sampel Air Kanal Hubung

No Sampel	Kode Sampel	Radionuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/ml}$)	Waktu paro	Keterangan
1.	Kanal-261215	I-133	$5,86 \times 10^{-5}$	20 jam	Hasil fisi

Dalam **Tabel 1** menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida pada air permukaan kanal hubung yang ditimbulkan dari pelepasan radionuklida hasil belah yaitu I-133 dan I-132. Setelah selama 15 hari operasi pemurnian air permukaan kanal menggunakan filter skimer dan kain filter dianalisis, seperti ditunjukkan **Tabel 2**, ternyata radionuklida I-133 dan I-132 tidak terdeteksi. Hal ini dimungkinkan karena radionuklida I-133 dan I-132 mempunyai waktu paro cukup pendek yaitu berturut-turut 20 jam dan 137 menit, sehingga radioaktivitas I-133 dan I-132 sudah meluruh dan memiliki aktivitas jenis di bawah limit deteksi alat. Pada kain filter skimer yang digunakan untuk menyaring air permukaan kanal hubung, hasil analisis radionuklidanya seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**, terdeteksi radionuklida Cs-137 yang

merupakan radionuklida hasil belah dan Co-60 yang merupakan radionuklida hasil aktivasi produk korosi. Kedua radionuklida ini tidak terdeteksi pada air permukaan kanal hubung dimungkinkan karena konsentrasinya yang sangat rendah dengan aktivitas di bawah batas deteksi alat. Cs-137 dan Co-60 ini kemudian terakumulasi selama operasi filter skimer yaitu selama 15 hari kerja (90 jam operasi) dan sangat lambat meluruh karena memiliki waktu paro panjang yaitu 30,18 tahun dan 5,3 tahun.

Pada **Tabel 1**, radionuklida hasil belah I-133 terdeteksi pada Titik 1 dan 3, dan radionuklida I-132 terdeteksi pada Titik 4. Konsentrasi tertinggi radionuklida di permukaan air kanal pada Titik 1 yaitu mencapai $2,7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/mL}$ disebabkan oleh tidak beroperasinya

skimer penyaring permukaan air di kanal sejak bulan 18 Nopember 2015 sampai dengan 10 Mei 2016 karena ada kerusakan pompa.

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis air kanal pada titik sampling di bagian dalam yang merupakan input ke sistem purifikasi. Dari Tabel tersebut dapat diketahui adanya kontaminasi radionuklida hasil belah yaitu I-133. Radionuklida Cs-137 dan Co-60 yang terdeteksi pada kain filter, tidak terdeteksi di air bagian dalam kanal hubung meskipun mempunyai waktu paro panjang dimungkinkan karena Cs-137 dan Co-60 cenderung menempel pada materi lain di permukaan air seperti kotoran dan debris kemudian melayang di permukaan air.

KESIMPULAN

Kegiatan evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan tingkat kontaminasi radionuklida di air permukaan dan air kanal hubung pada saat operasi filter skimer berhenti selama periode 18 Nopember 2015 sampai dengan 10 Mei 2016 karena adanya kerusakan pada alat skimer, dibandingkan dengan kontaminasi radionuklida di kain filter skimer yang digunakan untuk pemurnian air permukaan kanal hubung. Hasil analisis radionuklida dalam air permukaan menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida I-133 di 2 titik, dan I-132 di 1 titik, dengan konsentrasi tertinggi I-133 sebanyak $2,7 \times 10^{-4} \mu\text{Ci/ml}$. Hasil analisis radionuklida dalam air kanal hubung di bagian dalam juga menunjukkan radionuklida I-133 dengan konsentrasi sebanyak $5,86 \times 10^{-5} \mu\text{Ci/ml}$. Sedangkan hasil analisis kain filter yang digunakan untuk pemurnian dengan penyaringan air permukaan dideteksi adanya radionuklida Cs-137 dan Co-60 saja dengan aktivitas masing-masing $1,44 \times 10^{-2}$ dan $2,00 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}$. Hal ini kemungkinan karena radionuklida Cs-137 dan Co-60 yang awalnya di bawah batas deteksi alat analisis, terakumulasi dalam kain filter skimer karena memiliki kecenderungan menempel pada kotoran/debris yang melayang di permukaan air kanal hubung. Sedangkan radionuklida I-133 dan I-132 yang terdeteksi di permukaan air maupun

bagian dalam air kanal hubung tidak terdeteksi di kain filter dimungkinkan karena aktivitasnya yang sudah meluruh karena mempunyai waktu paro pendek berturut-turut yaitu 20 jam dan 137 menit. Dari evaluasi ini juga dapat disimpulkan bahwa pengoperasian filter skimer untuk pemurnian air permukaan di kanal hubung sangat besar pengaruhnya dalam memurnikan air kanal hubung secara keseluruhan karena radionuklida kontaminan berumur panjang yaitu Cs-137 dan Co-60 yang merupakan parameter penting kualitas air kanal dapat terakumulasi di kain filter skimer.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dyah S Rahayu, *Report of Repatriation for Spent Nuclear Fuel arising from MPR-GAS, BATAN, Serpong, Tangerang Selatan Banten, Indonesia*. 2010.
2. Zainus Salimin, "Heat Transfer Analysis on the Storage of Spent Fuel of Indonesia Multi-Purpose Reactor-30 MW", *Proceeding of 6th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics Operations and Safety, Nara, Japan*, pp. 155-164. 2004
3. Sudyono, "Pengoperasian Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3)", *Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3*, 2012.
4. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN. 2009.
5. Gunandjar, dkk. "The Operation Safety Aspect On Contamination Of Radionuclides In The Interim Storage Of Spent Nuclear Fuel Installation", *Proceedings of the 3rd Applied Science for Technology Application, ASTECHNOVA 2014 International Energy Conference* Yogyakarta, Indonesia, 13-14 August 2014.