

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, Gustris 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	

UJI INTEGRITAS KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS REAKTOR DENGAN METODE UJI CICIP

Dyah Sulistyani Rahayu, Darmawan Aji,
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspipstek Serpong Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
Email: yayuk@batan.go.id

ABSTRAK

UJI INTEGRITAS KELONGSONG BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS REAKTOR DENGAN METODE UJI CICIP. Telah dilakukan uji integritas terhadap bahan bakar nuklir bekas (BBNB) yang bertujuan untuk mengetahui kebocoran kelongsong bahan bakar nuklir bekas dengan nomer RI-309, RI-358, RI-389. Pemilihan nomer BBNB berdasarkan tahun dimasukkan dan dikeluarkannya dari teras reaktor serta burn up yang berbeda. Uji cicip merupakan salah satu teknik uji tak merusak untuk deteksi integritas kelongsong elemen bakar dengan mendeteksi dan mengidentifikasi keberadaan radionuklida hasil fisi yaitu keberadaan Cs 137 di dalam air rendaman elemen bakar setelah diiradiasi sebagai indikator kebocoran. Hasil air rendaman BBNB dengan rendaman selama 4, 22,46 dan 142 jam dan pengukuran aktivitasnya menggunakan spektrometri gamma telah dilakukan. Hasil yang diperoleh adalah bahan bakar dengan nomer RI-309 pada masa perendaman 142 jam aktivitas jenis Co-60 = $2,0 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$; RI-375 pada masa perendaman 142 jam aktivitas jenis Co $^{60} = 5,40 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$ dan masa perendaman 142 jam, aktivitas jenis Co-60 = $5,40 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$; dan RI-389 pada masa perendaman selama 142 jam aktivitas jenis Co-60 = $3,0 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$. Dari hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdeteksinya Cs137 yang merupakan produk fisi indikasi kebocoran dalam bahan bakar nuklir bekas yang dideteksi. Sedangkan adanya Co-60 mengindikasikan adanya produk aktivasi dari teras reaktor yang terikut pada material kelongsong, meskipun masih dalam ambang batas yang diijinkan.

Kata kunci: kebocoran bahan bakar nuklir bekas, produk fisi, uji cicip dingin, spektrometri sinar- γ

ABSTRACT

INTEGRITY TEST OF THE SPENT NUCLEAR FUEL USING SIPPING TEST METHOD. The integrity of the spent nuclear fuel have been tested to determine the leakage of spent nuclear fuel cladding with a batch number RI-309, RI-358, RI-389. Batch Number Selection is based loading and unloading from reactor core and burn up. Sipping test is one of the non-destructive testing techniques for detection the leakage of spent fuel cladding by detecting and identifying the presence of fission radionuclides, the existence of Cs 137 in the water after irradiated as an indicator of a leakage. The integrity test on 3 of spent fuel have been done with radionuclide identification and activity measurements using gamma spectrometry. The results of the immerse of spent fuel for 4, 22, 46 and 142 hours and concentrations measurements using gamma spectrometry. The result is a fuel with a batch number RI-309 in 142 hours immersion concentration of Co-60 = 2.0×10^{-6} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$, RI-375 in 142 hours immersion concentration Co $^{60} = 5,40 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$ and 142 hour immersion concentration of Co-60 = 5.4×10^{-6} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$; and RI-389 in 142 hours immersion concentration of Co-60 = $3,0 \times 10^{-6}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$. From these results indicate that there are no leaks in the spent fuel is detected. The presence of Cs 137 in the water immersion for further analysis to know the source and cause of radionuclide released. While the presence of Co 60 indicates the result of activation product from reactore core in cladding material, although still within the allowable threshold.

Keywords: leakage of spent nuclear fuel, fission product, sipping test, γ -ray spectrometry

PENDAHULUAN

Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) merupakan instalasi nuklir non reaktor untuk penyimpanan sementara bahan bakar bekas yang mempunyai potensi bahaya yang cukup besar sehingga dalam pengoperasiannya harus diperhatikan keselamatan dan keamanannya [1]. Bahan bakar nuklir bekas adalah bahan bakar yang telah terkena iradiasi neutron, dikeluarkan dari

teras reaktor dan tidak dipakai lagi untuk operasi. Berbeda dengan bahan bakar nuklir segar, bahan bakar nuklir bekas telah mengandung produk fisi yang bersifat radioaktif. Dalam reaktor nuklir, bahan bakar menghasilkan neutron dan panas selama periode operasi. Radionuklida hasil fisi dapat keluar dari elemen bakar ke dalam air pendingin karena adanya kebocoran pada kelongsong elemen bakar yang digunakan saat ini berusia di atas 5 tahun dengan nilai fraksi bakar (*burnup*) yang tinggi yaitu mencapai lebih dari 50% [2].

Berdasarkan usia dan fraksi bakar maka perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui integritas kelongsong elemen bakar. Hasil uji integritas kelongsong elemen bakar disamping akan digunakan untuk melihat unjuk kerja elemen bakar juga sebagai antisipasi bahaya radiasi dari kemungkinan adanya lepasan gas hasil fisi ke air pendingin maupun udara [3].

Uji cicip (*sipping test*) merupakan salah satu teknik uji tak merusak untuk deteksi integritas kelongsong elemen bakar dengan mendeteksi dan mengidentifikasi keberadaan radionuklida hasil fisi di dalam air rendaman elemen bakar setelah diiradiasi sebagai indikator kebocoran. Pada penelitian ini dideteksi 3 BBNB dengan umur penyimpanan dan fraksi bakar yang berbeda. Uji cicip dingin merupakan uji cicip untuk kondisi elemen bakar yang telah lama diiradiasi dengan nuklida indikator kebocoran adalah Cs-137 [3]. Berbeda dengan uji cicip dingin, uji cicip panas dilakukan dalam kondisi elemen bakar diiradiasi di teras reaktor dan radionuklida hasil fisi yang digunakan sebagai indikator rusaknya integritas kelongsong adalah gas mulia. Radionuklida dari golongan gas mulia merupakan hasil fisi yang mudah keluar saat elemen bakar diiradiasi jika terjadi kerusakan pada kelongsong elemen bakar. Untuk pelaksanaan uji cicip dingin dibuat perangkat uji integritas elemen bakar nuklir bekas,

dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, sehingga paparan radiasi yang diterima pekerja diupayakan sekecil mungkin.

TEORI

A. Karakteristik Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB)

Reaktor GA Siwabessy merupakan salah satu reaktor penelitian yang mempunyai daya dan fluks neutron tinggi serta menggunakan bahan bakar uranium dengan pengayaan rendah dengan daya nominal 30 MW. Dalam pengoperasiannya reaktor ini memerlukan bahan bakar nuklir berupa 40 elemen bakar standar dan 8 elemen bakar kendali. Bahan bakar aktif adalah bahan bakar yang telah teriradiasi di dalam teras reaktor. Bahan bakar yang digunakan di RSG GAS adalah elemen bakar tipe *Material Testing Reactor* (MTR) dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75% , terdispersi dalam matriks Al bentuk plat. Spesifikasi bahan bakar nuklir bekas yang dipindahkan adalah elemen bakar bekas jenis U_3Si_2Al dan U_3O_8Al , uraniumnya berasal dari Amerika Serikat, burn up nya mencapai 49 - 59% dan telah mengalami pendinginan pendahuluan minimum selama 100 hari di kolam penyimpanan sementara RSG GAS.[6]

Spesifikasi elemen bakar ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan spesifikasi elemen bakar dari RSG-GAS [4]

Dimensi (mm x mm x mm)	77.1 x 81 x 600
Jumlah plat per <i>Fuel Element</i> (FE)	21
Jumlah plat per <i>Control Element</i> (CE)	15
Bahan Kelongsong	AlMg ₂
Tebal kelongsong (mm)	0.38
Dimensi bahan bakar (mm x mm x mm)	0.54 x 62.75 x 600
bahan bakar	U ₂ Si ₃ Al
Pengkayaan U-235 (w/o)	19.75%
Densitas Uranium (g/cm ³)	2.96
Berat U-235 per FE (g)	250
Berat U-235 per CE (g)	178.6

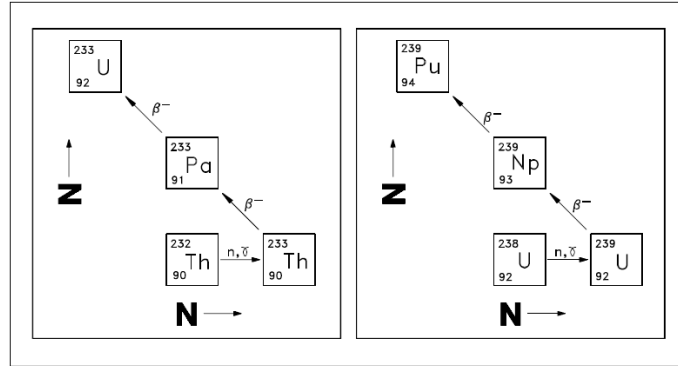
B. Reaksi Pembelahan Nuklir

Reaksi pembelahan nuklir adalah proses terjadinya pembelahan atom fisil dan pelepasan energi, nuklida hasil belah dan neutron. Neutron yang dihasilkan dapat melakukan reaksi pembelahan dengan atom fisil lain [1]. Dalam kaitannya dengan reaksi pembelahan nuklir, beberapa nuklida yang penting adalah [2] :

1. Nuklida fisil yaitu nuklida yang dapat melakukan reaksi pembelahan dalam seluruh rentang energi neutron, contoh ²³⁵U, ²³³U dan ²³⁹Pu.
2. Nuklida dapat belah (*fissionable*) yaitu nuklida yang memiliki kebolehdjian mengalami reaksi pembelahan dengan neutron. Nuklida fisil dapat dikategorikan

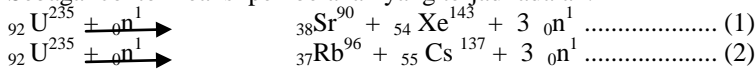
sebagai nuklida dapat belah. Demikian juga dengan nuklida yang mengalami reaksi pembelahan dengan neutron energi tinggi dapat dikategorikan sebagai nuklida dapat belah, misal ^{232}Th , ^{238}U dan ^{240}Pu .

3. Nuklida fertil yaitu nuklida yang dapat mengalami transmudasi untuk menjadi nuklida fisil seperti Th^{232} dan U^{238} yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Konversi dari nuklida fertil ke nuklida fisil [2]

Sebagai contoh reaksi pembelahan yang terjadi adalah:



Radionuklida Sr^{90} dan Cs^{137} adalah produk fisi utama. Sebenarnya ada sekitar 200 produk fisi yang dihasilkan, tetapi pada Tabel 2 hanya menampilkan

16 produk fisi utama yang menunjukkan prosen yields > 1 % .

Tabel 2. Produk Fisi Utama dengan prosen yields>1% [1]

Isotope	Radiation	Half-life	Yield (%)
Strontium-91/yttrium-90	β	28 years	5,8%
Caesium-137	β, γ	30 years	6,2%
Promethium-147	β	2.6 years	2,7%
Cerium-144	β, γ	285 days	6,1%
Ruthenium-106/rhodium-106	β, γ	1.0 years	3,0 %
Zirconium-95	β, γ	65 days	6,4 %
Strontium-89	β	51 days	4,8 %
Ruthenium-103	β, γ	39.7 days	3,0 %
Niobium-95	β, γ	35 days	6,4 %
Cerium-141	β, γ	33 days	6,0 %
Barium-140/lanthanum-140	β, γ	12.8 days	5,0 %
Iodine-131	β, γ	8.05 days	2,9 %
Tritium	β	13 years	6,5 %
Xenon - 133		5.3 days	6,5 %
Tc 99		2.1×10^5 years	6,0 %
Nd 147		11.3 days	2,9 %

Pada operasi normal KHIPSB3, produk fisi yang berasal dari bahan bakar nuklir bekas hanya radionuklida seperti ^{173}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{85}Kr dan ^{133}Xe yang dapat lepas ke air kolam KHIPSB3.

Di antara nuklida hasil fisi yang paling mudah lepas adalah golongan gas mulia. Pada iradiasi pendek diperlihatkan bahwa gas mulia hasil fisi yang lepas dengan aktivitas tinggi adalah Xe-138, Kr-87, Kr-88, Kr-85m dan Xe-135. Radionuklida hasil fisi dapat keluar dari elemen bakar ke dalam air pendingin karena adanya kebocoran pada kelongsong elemen bahan bakar nuklir bekas. Berdasarkan usia dan fraksi bakar maka perlu dilakukan pemeriksaan untuk mengetahui integritas kelongsong elemen bakar. Hasil uji integritas kelongsong elemen bakar disamping akan digunakan untuk melihat unjuk kerja elemen bakar juga sebagai antisipasi bahaya radiasi dari kemungkinan adanya lepasan gas hasil fisi ke air pendingin maupun udara.

METODE

A. Bahan dan peralatan

1. Detektor monitor radiasi, *handling tools* BBNB, *crane*, *jembatan geser*, *tools set* mekanik-elektrik, surveymeter, Alat Pelindung Diri (APD), Spektrometer Gamma dengan Hp-Ge detektor (MCA), Program GENIE-PC, sumber standar Eu-152 cair, Ba-137, Co-60, Cs-137
2. Bahan bakar nuklir bekas yang akan dideteksi

B. Cara kerja

Memastikan semua alat, bahan dan alat pelindung diri sudah siap digunakan. Memastikan di setiap tahap kegiatan dari awal hingga selesai selalu dimonitor secara kontinyu oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR). Mengambil sampel air kolam 500 mL sebagai background *general gamma-ray*. Memastikan air demin tersedia dan *supply* belum dioperasikan kemudian mengambil sampel air demin 500 mL. Menurunkan *tube* ke posisi bawah (basket pada posisi atas) dengan menggunakan *crane*. Setelah menentukan BBNB yang akan diuji serta mencatat nomor rak posisi BBNB. Mengeluarkan BBNB yang akan diuji-cicip dari rak menggunakan *handling tool* BBNB. Kemudian memasukkan BBNB kedalam *sipping tube* dengan menggunakan *handling tool* BBNB. Kemudian menaikkan *tube* ke posisi atas dengan menggunakan *crane* (basket posisi bawah). Mengunci *tube* padaudukannya dan mengoperasikan pompa air demin untuk mencuci BBNB dan ruang *sipping tube* dari air kolam sampai 5 kali volume *tube* atau sejumlah 275 liter.

Menghentikan proses injeksi air demin dan melakukan proses injeksi udara tekan melalui pipa fleksibel selama 2 menit untuk homogenisasi air uji dalam *sipping tube*. Kemudian menghentikan proses injeksi udara tekan dan mengambil sampel air *tube* sebagai *background* sebanyak 500mL air dalam *sipping tube* kedalam botol plastik. Menganalisis sampel air demin dengan menggunakan MCA dan melakukan *resting time* selama 4 jam (*short sipping*). Melakukan proses injeksi udara tekan selama 2 menit untuk homogenisasi air uji dalam *sipping tube*, setelah selesai *resting time* 4 jam. Mematikan proses injeksi udara tekan dan mengambil sampel larutan uji 500 mL / sesuai kebutuhan analisis dan melakukan waktu *resting time* selama 8 jam, 12 jam, dan 16 jam. Menurunkan *tube* ke posisi bawah (*basket* pada posisi atas) dengan menggunakan *crane*. Keluarkan BBNB dari basket dan kembalikan kedalam rak BBNB semula menggunakan *handling tool* dan jembatan geser.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa radionuklida cuplikan air rendaman BBNB dilakukan dengan menggunakan Gamma Spectrometer dengan Hp-Ge detector, dengan perangkat lunak MCA (*multichannel analyzer*) dapat dilakukan analisis kualitatif, sedangkan untuk analisis secara kualitatif dan kuantitatif sistem dilengkapi dengan perangkat lunak program GENIE-PC. Waktu pencacahan selama 1 jam pencacahan. Kurva efisiensi yang dipakai untuk energi 200 sampai 1400 keV dengan sumber standar Eu -152 cair.

Kalibrasi Energi

Kalibrasi energi pada MCA dimaksudkan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi kanal (*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

Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi dilakukan 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. Untuk kalibrasi efisiensi digunakan 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.

Identifikasi Nuklida

Elemen bakar yang berada di kolom KH-IPSB3 satu persatu diuji cicip, untuk penelitian sekarang jumlah elemen bakar yang diperiksa ada 3 buah. Elemen bakar yang dideteksi berumur 10, 9 dan 7 tahun dan fraksi bakar yang tinggi yaitu 57,85 % ; 55,51 % ; dan 54,87 %, seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Histori BBNB

No	Identifikasi BBNB	loading	unloading	Burn up (%)	Umur penyimpanan (tahun)
1.	RI-309	2004	2006	57,85	10
2	RI-358	2005	2007	55,51	9
3	RI-389	2006	2009	54,87	7

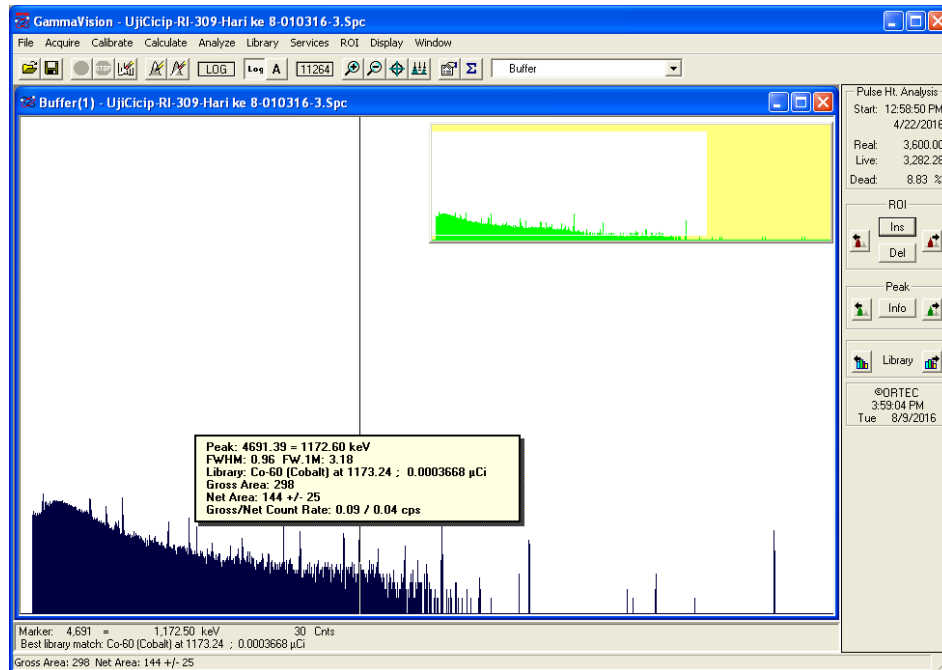
Cuplikan air rendaman elemen BBNB diambil dan dianalisis menggunakan spektrometer gamma. Hasil analisa air rendaman BBNB ditunjukkan pada Tabel 4. Identifikasi radionuklida di dalam cuplikan didasarkan pada nilai puncak spektrum yang merupakan energi gamma karakteristik masing masing nuklida. Nuklida di dalam cuplikan akan dikelompokkan ke dalam dua jenis yaitu nuklida hasil aktivasi dan nuklida hasil fisi. Kebocoran pada kelongsong elemen bakar diindikasikan dari terdeteksinya nuklida hasil fisi di dalam cuplikan air rendaman elemen bakar setelah iradiasi. Adapun nuklida hasil fisi yang digunakan sebagai indikator kebocoran adalah Cs 137 yang

mudah terdifusi keluar dari kelongsong. Radionuklida Cs-137 adalah elemen produk fisi utama yang mempunyai umur paro panjang (*long half life*), $T^{1/2} = 30,17$ tahun, yang akan meluruh menghasilkan radionuklida Ba-137. Ion Cs-137 memancarkan emisi gamma, sehingga sangat mudah terdeteksi dengan Gamma Spektrometri. Radionuklida Sr -90 adalah pemancar β yang merupakan produk hasil fisi utama yang mempunyai yield >1%, tetapi dalam hal ini tidak terdeteksi menggunakan Gamma spectrometer. Untuk analisa radionuklida Sr-90 harus menggunakan β spectrometer.

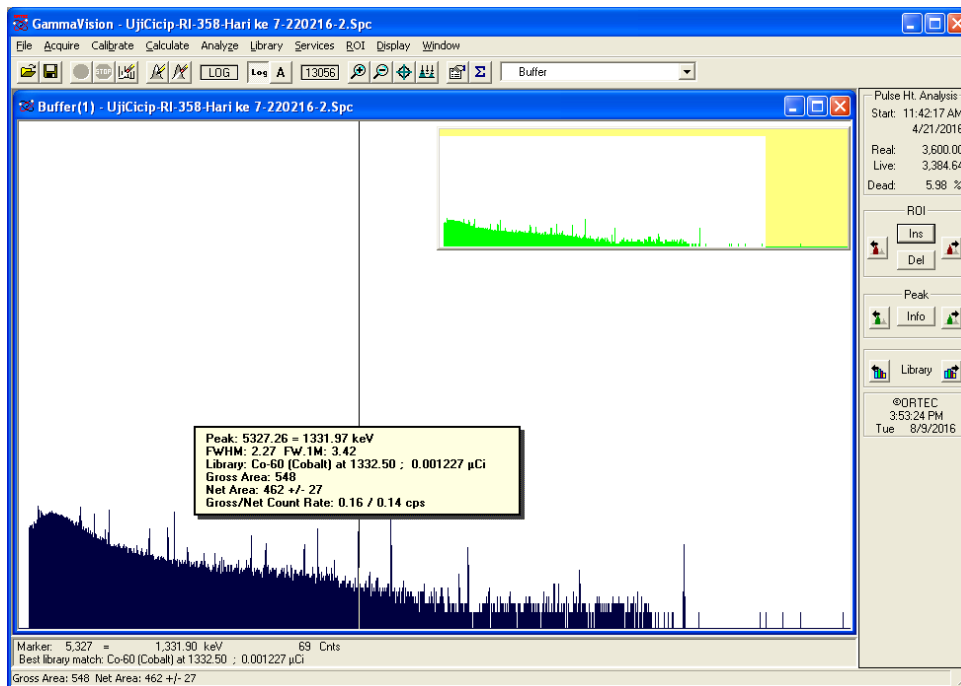
Tabel 4. Hasil Analisa air Rendaman BBNB

Pengambilan sampel	Hasil analisa menggunakan MCA $\mu\text{Ci/mL}$		
	RI-309	RI-358	RI-389
Back ground	-	-	-
Uji cicip			
- Jam Ke 4	Ttd	Ttd	Ttd
- Jam ke 22	Ttd	Ttd	Ttd
- Jam ke 46	Ttd	$\text{Co} = 1,60 \times 10^{-6}$	$\text{Co} = 1,20 \times 10^{-6}$
- Jam ke 142	$\text{Co} = 2,00 \times 10^{-6}$	$\text{Co} = 5,40 \times 10^{-6}$	$\text{Co} = 3,00 \times 10^{-6}$

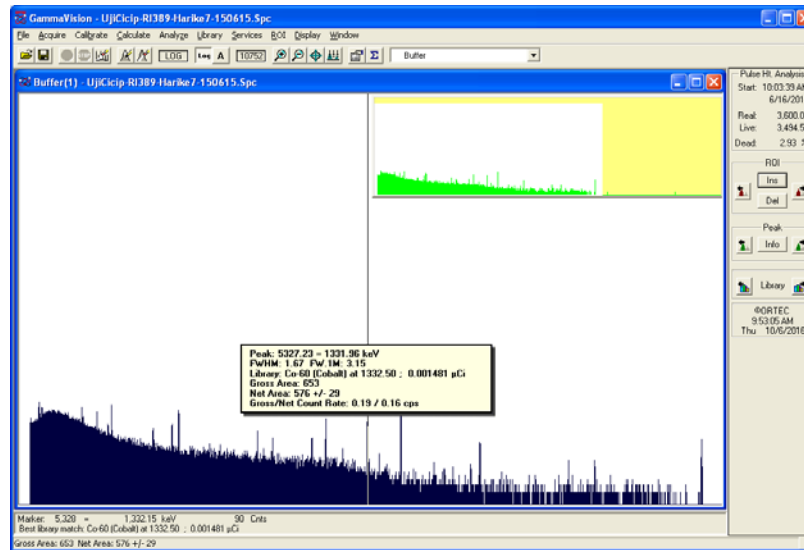
Keterangan: Batas Limit Deteksi (BLD) = $1 \times 10^{-8} \mu\text{Ci/mL}$
 Ttd = Tidak Terdeteksi / di bawah limit deteksi alat



Gambar 2. Spektrum gamma dari cuplikan rendaman air BBNB no RI-309 , rendaman selama 142 jam



Gambar 3 .Spektrum gamma dari cuplikan rendaman air BBNB no RI-358, rendaman selama 142 jam



Gambar 4. Spektrum gamma dari cuplikan rendaman air BBNB no RI-389, rendaman selama 142 jam

Pada Gambar 2 spektrum gamma dari cuplikan rendaman air BBNB no RI-309 pada rendaman selama 142 jam, yaitu puncak energi gamma dari nuklida Co-60. Pada Gambar 3 diperlihatkan spektrum gamma dari cuplikan rendaman air BBNB no RI-358 pada rendaman selama 142 jam, yaitu puncak energi gamma dari nuklida Co-60. Dari hasil analisa ternyata tidak ditemukan adanya produk fisi seperti Cs-137 dan hanya ditemukan Co-60 yang merupakan produk aktivasi di teras reaktor dan terikut di kelongsong BBNB. Fraksi bakar dari elemen bakar sangat berpengaruh pada integritas kelongsong elemen bakar. Elemen bakar nomor RI-309, RI-358 dan RI-389 di samping usianya yang sudah tua yaitu di atas 6 tahun juga telah memiliki fraksi bakar yang tinggi dengan nilai umumnya di atas 50%. Pada kondisi operasi, di dalam elemen bakar akan terbentuk gas-gas hasil fisi terutama gas mulia yang akibat adanya panas dan tekanan dapat berdifusi keluar dari pelet dan berkumpul di rongga antara pelet dengan kelongsong. Tekanan akan makin besar pada elemen bakar yang telah memiliki fraksi bakar tinggi dikarenakan jumlah hasil fisi yang berupa gas yang sudah banyak. Kelongsong elemen bakar telah dirancang untuk menahan tekanan tersebut. Di samping fraksi bakar tinggi dan umur penyimpanan, kebocoran kelongsong juga dapat terjadi karena jenis material elemen bakar itu sendiri. Dengan tidak terdeteksinya Cs 137 pada ke 3 BBNB tersebut, menunjukkan bahwa integritas BBNB masih bagus dan tidak terjadi kebocoran pada kelongsong BBNB.

KESIMPULAN

Telah dilakukan pendeteksian terhadap 3 bahan bakar nuklir bekas yaitu RI 309, RI-358, RI-389 di Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas, yang berbeda umur *loading unloading* dari teras reaktor dan *burn up* dari BBNB tersebut. Hasil analisa menggunakan spektrometri gamma dengan masa rendaman selama 4, 22, 46, 142 jam menunjukkan RI-309 pada masa perendaman 142 jam aktivitas jenis Co-60 = $2,0 \times 10^{-6} \mu\text{Ci} / \text{ml}$; RI-358 pada masa perendaman 142 jam aktivitas jenis Co-60 = $5,40 \times 10^{-6} \mu\text{Ci} / \text{ml}$ dan masa perendaman 142 jam, aktivitas jenis Co-60 = $5,40 \times 10^{-6} \mu\text{Ci} / \text{ml}$; dan RI-389 pada masa perendaman selama 142 jam, aktivitas jenis Co-60 = $3,0 \times 10^{-6} \mu\text{Ci} / \text{ml}$. Dari hasil analisa menunjukkan bahwa tidak terdeteksinya radionuklida hasil fisi yaitu Cs 137 pada ke 3 BBNB tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terjadi kebocoran kelongsong BBNB dan integritas BBNB dalam keadaan baik. Sedangkan radionuklida Co-60 merupakan produk aktivasi pada teras reaktor yang terikut pada kelongsong BBNB.

DAFTAR PUSTAKA

1. Salimin, Zainus dan Gunandjar. 2010. *Pengelolaan Bahan bakar Nuklir Bekas Radioaktif sebagai Bentuk Akhir Limbah Radioaktif*. Tangerang BATAN

2. Salimin, Zainus dan Rahayu, Dyah Sulistyani. 2010. *Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas sebagai Penentu Program Pembangunan PLTN*. Jakarta BATAN
2. Rasito, Sudjatmi K.A., dan P. Ilham Yazid, Uji Integritas Kelongsong Elemen Bakar Reaktor Triga 2000 Dengan Metode Uji Cicip Panas, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 3 Juni 2009
3. Rahayu, Dyah Sulistyani dan Budianti, Arie. 2011. *Pemindahan Bahan Bakar Nuklir Bekas dari Kolam Reaktor ke Cask Transnuclear Material Testing Reactor*. Jakarta: BATAN
4. Salimin, Zainus dan Rahayu, Dyah Sulistyani. 2010. *Unjuk Kerja Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas PLTN dalam Kaitan Dengan Teknologi Penyimpanannya*. Tangerang BATAN
5. Rahayu, Dyah Sulistyani. 2012. *Pengembangan Teknologi Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas dan Material Teriradiasi di KHIPSB3* Tangerang BATAN