

EVALUASI HASIL ANALISIS RADIOAKTIVITAS AIR PENDINGIN DI FASILITAS KH-IPSB3

Darmawan Aji, Titik Sundari

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung No.50

E-mail: daji@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI HASIL ANALISIS RADIOAKTIVITAS AIR PENDINGIN DI FASILITAS KH-IPSB3. Saat ini ada 245 bahan bakar nuklir bekas disimpan dengan tipe basah di fasilitas Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3). Kolam penyimpanan 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 lain dari IRM dan IPR (PT. INUKI). Kolam dan kanal berisi air pendingin yang berfungsi untuk menahan radionuklida dari BBNB tidak terlepas ke lingkungan. Kualitas air kolam dijaga dengan mengoperasikan sistem purifikasi/pemurnian air dengan resin penukar ion. Pengambilan sampel air pendingin di kolam dan kanal dilakukan dengan mengoperasikan sistem purifikasi air kolam dan kanal. Analisis radioaktivitas air kolam dan kanal tahun 2015 dilakukan menggunakan spektrometri gamma (*multy channel analyzer*). Dari hasil analisis radioaktivitas air kanal dan kolam didapatkan radionuklida Cs-137 dengan konsentrasi sebesar $4,00 \times 10^{-7}$ $\mu\text{Ci/ml}$ nilai tersebut lebih rendah dari Konten Radioaktivitas Tertinggi/LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$). Sedangkan untuk radionuklida dengan waktu paro sangat singkat, Sb-124 dan J-133 terdeteksi ada yang lebih rendah dari LPHRC tapi ada juga lebih tinggi dari LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$). Konsentrasi tertinggi untuk Sb-124 yaitu $7,26 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$, sedangkan untuk J-133 adalah $5,47 \times 10^{-4}$ $\mu\text{Ci/ml}$. Kontaminan tersebut selanjutnya ditangkap dengan menggunakan sistem purifikasi/pemurnian air. Hasil analisis tidak menunjukkan adanya kontaminasi dari aktivasi produk korosi seperti Zn-65, Co-60, dan Mn-54. Berdasarkan evaluasi dan analisis tingkat kontaminasi dapat disimpulkan bahwa pengoperasian fasilitas KH-IPSB3 dalam kondisi baik dan aman sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.
Kata Kunci : bahan bakar nuklir bekas, KH-IPSB3, analisis radioaktivitas, air pendingin.

ABSTRACT

EVALUATION OF RADIOACTIVITY ANALYSIS OF THE WATER COOLANT IN TRANSFER CHANNEL AND INTERIM STORAGE FOR SPENT FUEL FACILITIES. Currently, there are 245 spent nuclear fuel stored with wet-type in transfer channel-interim storage for spent fuel (TC-ISFSF) facilities. The storage pool until now only used to temporarily store spent nuclear fuel from GA. Siwabessy Multipurpose Reactor, while the transfer channels used to transfer spent nuclear fuel and other irradiated material from RMI and RPI (PT. Inuki). Pool and channels filled with water coolant which also serves to hold radionuclides from spent nuclear fuel to avoid detachment of radionuclides into the environment. Water quality is maintained by operating system of purification / water purification with ion exchange resins. Sampling of the water coolant in both the pool and the canal is done by operating the water purification system of ponds and canals. Analysis of the radioactivity of water ponds and canals performed using gamma spectrometry (*Multy channel analyzer*). From the analysis of the radioactivity of water channels and pools at 2015 obtained radionuclides Cs-137, the concentration was $4,00 \times 10^{-7}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$ but still lower than the Limit of Permitted Highest Radioactivity Content / LPHRC (7×10^2 Bq / L or $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$). For radionuclide with a half-life is very short, Sb-124 and J-133 detected are lower than LPHRC but there are also higher than LPHRC (7×10^2 Bq / L or $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$). The highest concentrations of Sb-124 is $7,26 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$, whereas for J-133 is $5,47 \times 10^{-4}$ $\mu\text{Ci} / \text{ml}$. The contaminants can then be captured by using a water purification system. The results of the analysis did not show any contamination of the activation of corrosion products such as Zn-65, Co-60 and Mn-54. Based on the evaluation and analysis of the level of contamination can be inferred that the TC-ISFSF operation of the facility in good condition and safely in accordance with safety standards.
Keywords: spent nuclear fuel, TC-ISFSF, analysis of radioactivity, water coolant.

PENDAHULUAN

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. 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: 14 m x 5 m 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 agar tidak terlepas 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 U₃O₈-Al dan bahan bakar silisida U₃Si₂ - 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 [4]. 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 [5]:

- 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 °C;
- pH berkisar 5,5 – 7,5 ;
- Konduktivitas air lebih kecil daripada 15 µS/cm;
- Kontaminasi udara lebih kecil daripada 5,3.10² Bq/m³.

Kontaminasi radionuklida terdiri dari tiga jenis kontaminan yaitu radionuklida dari produk fisi seperti Cs¹³⁷, Sr⁹⁰ dan Cu⁶⁰, radionuklida dari aktivasi produk korosi antara lain Co⁶⁰, Fe⁵⁵, Ni⁵⁹, Nb⁹⁴ dan radionuklida dari aktinida (uranium dan trans-uranium) yaitu turunan Th⁹⁰ serta nuklida anak luruhnya. Pada operasi normal KH-IPSB3 produk fisi yang berasal dari bahan

bakar nuklir bekas hanya radionuklida Cs^{137} , Sr^{90} , I^{131} , Kr^{85} dan Xe^{133} . 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 [1].

Ruang lingkup kegiatan ini meliputi pengambilan sampel air kanal dan kolam, analisis jenis dan konsentrasi radionuklida dalam sampel air kanal dan kolam KH-IPSB3, dan evaluasi terhadap nilai batas konsentrasi radionuklida yang diijinkan. Kegiatan ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam air kanal dan kolam KH-IPSB3 pada tahun 2015, sehingga data hasil analisis dapat menjadi database kualitas air KH-IPSB3 serta menentukan langkah selanjutnya dalam pengelolaan instalasi KH-IPSB3.

METODOLOGI

Peralatan dan bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam analisis radionuklida dalam air pendingin adalah alat spektrometer gamma, botol sampel volume 500 mL, air sampel, nitrogen cair dan nitrogen gas untuk keperluan analisis dan sistem sampling air kolam dan kanal KH-IPSB3 yang berupa saluran pemipaan dan *valve*.

Metode

Sampel air kolam diambil dari *valve* keluaran pompa P3 pada saat sistem purifikasi dioperasikan Mode 2 pada layar HMI (*human machine interface*) dan sampel air kanal diambil dari *valve* keluaran dari pompa P4 pada saat sistem purifikasi dioperasikan pada Mode 5.

Sampel air kolam dan kanal masing-masing sebanyak 500 mL dianalisis kandungan radionuklidanya menggunakan alat spektrometer gamma MCA (*multy channel analyzer*) tipe ORTEC. Waktu pencacahan dilakukan selama 1 jam untuk mendapatkan spektrum energi. Kemudian spektrum energi yang diperoleh dianalisis menggunakan *software gamma vision*. Alat MCA yang digunakan untuk analisis ini mempunyai batas limit deteksi 1×10^{-8} $\mu\text{Ci/mL}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengambilan sampel air kolam dan kanal pada tahun 2015 serta hasil analisisnya ditunjukkan pada **Tabel 1**. Pengambilan sampel dilakukan minimal sekali dalam sebulan. Sampel air kolam dan kanal diidentifikasi dengan menambahkan tanggal pengambilan sampel.

Tabel 1. Hasil Analisis Radionuklida Air Kolam dan Kanal KH-IPSB3 Tahun 2015

No.	Kode Sampel	Tanggal Analisis	Radio-nuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/ml}$)	Keterangan
1.	Kolam - 210115	22-01-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
2.	Kanal - 210115	23-01-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
3.	Kolam - 020215	02-02-2015	-	Dibawah limit deteksi*	

4.	Kanal - 020215	05-02-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
5.	Kolam - 230215	24-02-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
6.	Kanal - 230215	25-02-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
7.	Kolam - 130315	13-03-2015	J-133	$5,22 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
8.	Kanal - 130315	13-03-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
9.	Kolam - 020415	06-04-2015	Sb-124	$3,48 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
10.	Kanal - 020415	07-04-2015	Cs-137	$4,00 \times 10^{-7}$	Hasil fisi
			J-133	$4,28 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
			Sb-124	$4,18 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
11.	Kolam - 110515	19-05-2015	Sb-124	$4,40 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
12.	Kanal - 110515	15-05-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
13.	Kolam - 250515	28-05-2015	Sb-124	$3,74 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
14.	Kanal - 250515	28-05-2015	Sb-124	$3,84 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
15.	Kolam - 030615	05-06-2015	J-133	$1,12 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
16.	Kanal - 030615	05-06-2015	-	Dibawah limit deteksi*	Hasil fisi
17.	Kolam - 110615	15-06-2015	-	Dibawah limit deteksi*	Hasil fisi
18.	Kanal - 110615	16-06-2015	Sb-124	$4,04 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
19.	Kolam - 030715	03-07-2015	J-133	$1,12 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
20.	Kanal - 030715	03-07-2015	Sb-124	$4,48 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
21.	Kolam - 060815	06-08-2015	Sb-124	$4,40 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
22.	Kanal - 060815	06-08-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
23.	Kolam - 020915	04-09-2015	Sb-124	$7,26 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
			J-133	$4,96 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
24.	Kanal - 020915	04-09-2015	Sb-124	$4,60 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
25.	Kolam - 220915	25-09-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
26.	Kanal - 220915	25-09-2015	J-133	$6,76 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
27.	Kolam - 051015	08-10-2015	J-133	$5,47 \times 10^{-4}$	Hasil fisi
28.	Kanal - 051015	22-10-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
29.	Kolam - 221015	22-10-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
30.	Kanal - 221015	22-10-2015	Sb-124	$4,30 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
			J-133	$4,64 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
31.	Kolam - 091115	10-11-2015	-	Dibawah limit deteksi*	

32.	Kanal - 091115	10-11-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
33.	Kolam - 261215	26-12-2015	-	Dibawah limit deteksi*	
34.	Kanal - 261215	30-12-2015	J-133	$5,86 \times 10^{-5}$	Hasil fisi
*Dibawah limit deteksi alat MCA= 10^{-8} μ Ci/ml					

Hasil analisis aktivitas radionuklida dalam μ Ci/ml (mikro Curie / mili liter) yang terkandung dalam sampel air dari kanal hubung (KH) dan kolam IPSB3 menggunakan Spektrometer Gamma ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Dalam **Tabel 1** menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida yang ditimbulkan dari pelepasan radionuklida hasil belah, yaitu: Cs-137, Sb-124, dan J-133. Dalam air kanal dan kolam tidak terdeteksi adanya radionuklida seperti I-131, Kr-85, dan Xe-133, radionuklida ini adalah produk fisi utama di fase gas sehingga mereka dapat dirilis ke udara ambien. Sedangkan kontaminasi radionuklida yang dihasilkan dari produk korosi yang diaktifkan elemen seperti Fe-59, Co-60, Mn-54 juga tidak terdeteksi.

Radionuklida Cs-137 dan Sr-90 yang merupakan produk fisi yang penting untuk dipantau karena memiliki waktu paruh yang panjang (masing-masing 30,17 tahun dan 28,8 tahun), sehingga kedua radionuklida tersebut merupakan kontributor utama yang terkandung dalam BBNB. Radionuklida Cs-137 merupakan pemancar gamma kuat sehingga sangat mudah untuk dianalisa menggunakan Spektrometer Gamma. Kelarutan Cs-137 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 menembus kelongsong bahan bakar nuklir. Kedua isotop tersebut dapat terlepas ke dalam air pendingin sebagai kontaminan air pendingin sistem kanal dan kolam KH-IPSB3.

Dengan membandingkan antara aktivitas maksimum radionuklida (Tabel 1) dengan Batas yang diijinkan Konten Radioaktivitas tertinggi [6] LPHRC (*Limit of Permitted Highest Radioactivity Content*) di lingkungan air menunjukkan bahwa sebagian besar radioaktivitas dari Cs-137 dan Sr-90 dalam sampel air (kanal dan kolam) tidak terdeteksi (tidak ada). Cs-137 terdeteksi sekali dengan konsentrasi $4,00 \times 10^{-7}$ μ Ci/ml pada tanggal 2 April 2015 pada sampel air kanal. Nilai tersebut masih lebih rendah dari LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ μ Ci/ml).

Produk fisi berupa Ru-103, Nd-147, Y-91, dan Te-131 yang memiliki waktu paruh pendek, tidak pernah terdeteksi. Produk fisi dari Ru-103 ($T_{1/2} = 39,8$ hari) memiliki perilaku seperti Cs-137 dan Sr-90. Produk fisi dari Nd-147 ($T_{1/2} = 11,3$ hari) dan Y-91 ($T_{1/2} = 61$ hari). Sedangkan radionuklida dari Te-131 memiliki waktu paruh yang sangat singkat ($T_{1/2} = 25$ menit). Sedangkan radionuklida Sb-124 dan J-133 yang juga memiliki waktu paruh pendek, selama periode itu terdeteksi masing-masing 5 kali pada air kolam. Pada air kanal, radionuklida Sb-124 dan J-133 selama periode itu terdeteksi masing-masing 6 kali dan 4 kali. Hasil analisis konsentrasi radionuklida Sb-124 dan J-133 menunjukkan ada yang masih lebih rendah dari LPHRC tapi ada juga lebih tinggi dari LPHRC

(7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ μ Ci/ml). Konsentrasi tertinggi untuk Sb-124 yaitu $7,26 \times 10^{-5}$ μ Ci/ml, sedangkan untuk J-133 adalah $5,47 \times 10^{-4}$ μ Ci/ml.

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa ada kontaminasi Cs-137, Sb-124, dan J-133 dalam sistem air pendingin di fasilitas KH-IPSB3, tetapi dengan adanya unit pemurnian/purifikasi menggunakan resin penukar ion mengakibatkan radionuklida tersebut terperangkap oleh resin sehingga pada analisis sampel berikutnya radionuklida tidak muncul lagi.

KESIMPULAN

Evaluasi berdasarkan hasil analisis tingkat kontaminasi radionuklida di kanal (KH) dan kolam (IPSB3) selama periode bulan Januari sampai Desember 2015 dapat disimpulkan bahwa terdapat kontaminasi berupa radionuklida hasil belah yaitu Cs-137, Sb-124, dan J-133. Radionuklida Cs-137 berumur waktu paro panjang yang terdapat dalam sistem pendingin air KH-IPSB3 masih lebih rendah dari Batas yang diijinkan tertinggi Radioaktivitas Content (LPHRC). Sedangkan tingkat kontaminasi radionuklida Sb-124 dan J-133 yang memiliki waktu paro sangat singkat kadang-kadang lebih tinggi dari LPHRC. Radionuklida dapat ditangkap dengan menggunakan sistem purifikasi/pemurnian air. Selain itu, dalam sistem pendingin air dari kanal maupun kolam KH-IPSB3 tidak menunjukkan adanya kontaminasi dari aktivasi produk korosi seperti Zn-65, Co-60, dan Mn-54. Berdasarkan evaluasi dan analisis tingkat kontaminasi dapat disimpulkan bahwa pengoperasian fasilitas KH-IPSB3 dalam kondisi baik dan aman sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. 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.
- [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]. Sudiyono, "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]. Dyah S Rahayu, *Report of Repatriation for Spent Nuclear Fuel arising from MPR-GAS*, BATAN, Serpong, Tangerang Selatan Banten, Indonesia. 2010.
- [6]. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 07 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. 2013.