

ANALISIS RADIOAKTIVITAS AIR PENDINGIN DI FASILITAS KH-IPSB3

Titik Sundari, Darmawan Aji
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung No.50
E-mail: titiks@batan.go.id

ABSTRAK

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 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 dijaga dengan mengoperasikan sistem purifikasi/pemurnian air dengan resin penukar ion. Pengambilan sampel air pendingin baik di kolam dan kanal dilakukan dengan mengoperasikan sistem purifikasi air kolam dan kanal. Analisis radioaktivitas air kolam dan kanal dilakukan menggunakan spektrometri gamma (*multy channel analyzer*). Dari hasil analisis radioaktivitas air kolam dan kanal didapatkan radionuklida Cs-137 yang mempunyai waktu paro panjang terdapat konsentrasi sebesar konsentrasi $2,00 \times 10^{-7}$ $\mu\text{Ci/ml}$ tapi masih 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, J-133 dan Ce-143 terdeteksi ada yang masih lebih rendah dari LPHRC tapi ada juga lebih tinggi dari LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$). Konsentrasi tertinggi untuk Sb-124 yaitu $5,2 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$, untuk J-133 adalah $6,2 \times 10^{-4}$ $\mu\text{Ci/ml}$, sedangkan untuk Ce-143 adalah $6,60 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$. Kontaminan tersebut selanjutnya dapat 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 analisis tingkat kontaminasi dapat disimpulkan juga bahwa pengoperasian fasilitas KH-IPSB3 dalam kondisi baik dan aman sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

Kata Kunci : analisis radioaktivitas, air pendingin, bahan bakar nuklir bekas, KH-IPSB3,

ABSTRACT

RADIOACTIVITY ANALYSIS OF THE WATER COOLANT TC-ISFSF 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). Ponds and canals 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 obtained radionuclides Cs-137 which is a long lived radionuclide, the concentration was 2.0×10^{-7} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$ but still lower than the Limit of Permitted Highest Radioactivity Content / LPHRC (7×10^2 Bq / L or 1.891×10^{-5} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$). For radionuclide with a half-life is very short, Sb-124, J-133 and Ce-143 detected are still lower than LPHRC but there are also higher than LPHRC (7×10^2 Bq / L or 1.891×10^{-5} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$). The highest concentrations of Sb-124 is 5.2×10^{-5} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$, for J-133 is 6.2×10^{-4} $\mu\text{Ci} / \text{ml}$ whereas Ce-143 is 6.6×10^{-5} $\mu\text{Ci/ml}$. 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: radioactivity analysis, water coolant, spent nuclear fuel, TC-ISFSF.

PENDAHULUAN

Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) memiliki fungsi utama sebagai tempat penyimpanan sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) dari Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy (RSG-G.A.S). Ruang penyimpanan BBNB berupa kolam yang berisi air bebas mineral yang berfungsi sebagai pendingin,

perisai radiasi, juga sebagai penahan radionuklida agar tidak lepas ke lingkungan. Untuk menjamin kandungan radionuklida air kolam dalam batas yang diijinkan, dilakukan pemurnian air kolam dengan mengintegrasikan sistem purifikasi dengan air kolam. Dengan dilakukan proses pemurnian air kolam maupun air kanal diharapkan seluruh pengotor dalam air kolam dan kanal dapat tertangkap dalam resin

sistem purifikasi, terutama zat radioaktif yang terkandung di dalam air kolam dan kanal.

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 mx 5 mx (-6,5 m), dan berisi air pendingin sedalam 6,3 m. Kapasitas kolam penyimpanan ini mampu menyimpan 1458 BBNB [1].

KH-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 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 KH-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]:

- a. Kapasitas Maksimal BBNB yang dapat didinginkan (kapasitas penuh) yaitu 1458 bundel;
- b. Tinggi permukaan air kolam pada kapasitas penuh minimal 3,6 dari permukaan BBNB;
- c. Temperatur kolam penyimpanan maksimal sebesar 35 °C;
- d. pH berkisar 5,5 – 7,5 ;
- e. Konduktivitas air lebih kecil daripada 15 µS/cm;
- f. Kontaminasi udara lebih kecil daripada 5,3.10² Bq/m³.

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 [1].

Unsur radioaktif hasil reaksi pembelahan meliputi semua nuklida hasil reaksi pembelahan dan nuklida yang dihasilkan dari penangkapan neutron oleh nuklida hasil pembelahan. Reaksi fisi (pembelahan) secara umum mengikuti persamaan 1 sebagai berikut [6] :



Di mana : Z = nomor atom, A = Nomor massa, L dan H berturut-turut adalah nuklida ringan dan nuklida berat hasil pembelahan. Nuklida ringan mempunyai nomor massa 72 sampai 118 dan nuklida berat bernomor massa 118 sampai 162. X adalah jumlah neutron yang dihasilkan dari reaksi fisi.

Ada sekitar 200 unsur hasil fisi dalam rentang unsur radioaktif dengan nomor atom 30 - 65 dengan nomor massa 72 - 166. Dari 200 unsur hasil fisi tersebut ada 18 unsur hasil fisi utama yang mempunyai *yield* lebih dari 1 % seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Unsur-Unsur Hasil Fisi Utama yang Mempunyai *Yield* Lebih dari 1% [7,8]

Hasil fisi	Umur paro	Yield (%)	Hasil Fisi	Umur paro	Yield (%)
⁹⁹ Tc	2,1x10 ⁵ tahun	6,0	⁸⁹ Sr	53,0 hari	4,8
¹³⁷ Cs	33 tahun	6,2	¹⁰³ Ru	39,8 hari	3,0
⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y*	28 tahun / 64 jam	5,8	¹⁴¹ Ce	33,1 hari	6,0
⁸⁵ Kr	10 tahun	1,5	¹⁴³ Pr	13,7 hari	6,2
¹⁴⁷ Pm	2,65 tahun	2,7	¹⁴⁰ Ba	12,8 hari	6,3
¹⁴⁴ Ce	282 hari	6,1	¹⁴⁷ Nd	11,3 hari	2,6
⁹⁵ Zr/ ⁹⁵ Nb*	65/35 hari	6,4	¹³¹ I	8,1 hari	2,9
⁹¹ Y	61 hari	5,4	¹³³ Xe	5,3 hari	6,5

*Nuklida induk dan nuklida anak luruhnya (nuklida induk pemancar beta)

Unsur hasil fisi Cs-137 dan Sr-37 dapat mendifusi melewati pori kelongsong bahan bakar masuk ke air pendingin, sehingga terdapat unsur radioaktif Cs-137 dan Sr-90 dalam air pendingin. Unsur radioaktif hasil fisi yang berupa gas seperti : Xe-133, I-131, Kr-85, Kr-87, Kr-88, dan H-3 dapat juga mendifusi melewati pori kelongsong bahan bakar dan masuk ke air pendingin [9].

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

METODOLOGI

Peralatan dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam analisis radionuklida dalam air pendingin adalah alat spektrometri gamma dan sistem sampling air kolam dan kanal KH-IPSB3 yang berupa saluran pemipaan dan valve.

Bahan yang digunakan dalam analisis radionuklida dalam air pendingin yaitu:

1. Botol Sampel volume 500 mL
2. Nitrogen cair untuk keperluan analisis.
3. Gas Nitrogen untuk keperluan analisis.

Metode

1. Pengambilan Sampel Air Kolam

Sampel air kolam diambil sebanyak 500 mL dari valve keluaran dari pompa P3 pada saat sistem purifikasi dioperasikan pada Mode 2 yaitu sirkulasi dari kolam kembali ke

kolam melalui *Cesium Filter* dan *Mixed bed Filter*.

2. Pengambilan Sampel Air Kanal

Sampel air kanal diambil sebanyak 500 mL dari valve keluaran dari pompa pada saat sistem purifikasi dioperasikan pada Mode 5 yaitu sirkulasi dari kanal penghubung kembali ke kanal penghubung melalui *Cesium filter* dan *Mixed bed filter*.

3. Analisis Sampel Air Kolam dan Kanal

Sampel air kolam dan kanal masing-masing sebanyak 500 mL dikirim ke laboratorium analisis PTLR untuk dianalisis kandungan radionuklidanya menggunakan alat spektrometer gamma multy channel analyzer (MCA) 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

Pengambilan sampel dilakukan minimal sekali dalam sebulan. Sampel air kolam dan kanal diidentifikasi dengan menambahkan tanggal pengambilan sampel. Analisis kadar radionuklida pada sampel air kolam dan air 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. 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 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 aktivitas radionuklida yang terkandung dalam sampel air dari kanal hubung (KH) dan kolam IPSB3 dinyatakan dalam $\mu\text{Ci/ml}$ (mikro Curie / mili liter).

Jenis radionuklida yang terdeteksi dan konsentrasi tertinggi dalam air kolam dan kanal KH-IPSB3 selama tahun 2015 ditampilkan pada **Tabel 2**. Data ini dapat digunakan sebagai pembandingan data analisis tahun 2016.

Tabel 2. Jenis Radionuklida yang Terdeteksi dalam Air Kolam dan Kanal KH-IPSB3 Tahun 2015

No.	Jenis Radionuklida	Aktivitas Tertinggi ($\mu\text{Ci/ml}$)	Keterangan
1.	Cs-137	$4,00 \times 10^{-7}$	Terdeteksi 1 kali
2.	J-133	$5,47 \times 10^{-4}$	Terdeteksi 4 kali
3.	Sb-124	$7,26 \times 10^{-5}$	Terdeteksi 8 kali

Data pengambilan sampel air kolam dan kanal pada tahun 2016 serta hasil analisisnya ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil Analisis Radionuklida Air Kolam dan Kanal KH-IPSB3 Tahun 2016

No.	Kode Sampel	Tanggal Analisis	Radionuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/ml}$)
1.	Kanal -130116	14-01-2016	J-133	$5,52 \times 10^{-5}$
2.	Kolam -130116	13-01-2016	Sb-124	$4,78 \times 10^{-5}$
3.	Kanal -040216	10-03-2016	-	Dibawah limit deteksi*
4.	Kolam -040216	10-03-2016	-	Dibawah limit deteksi*
5.	Kanal -220216	14-03-2016	J-133	$5,32 \times 10^{-5}$
6.	Kolam -220216	14-03-2016	Sb-124	$4,00 \times 10^{-5}$
7.	Kanal -020316	14-03-2016	J-133	$5,32 \times 10^{-5}$
8.	Kolam -020316	05-04-2016	-	Dibawah limit deteksi*
9.	Kanal -150316	05-04-2016	-	Dibawah limit deteksi*
10.	Kolam -150316	05-04-2016	-	Dibawah limit deteksi*
11.	Kanal -180416	20-04-2016	J-133	$5,02 \times 10^{-5}$
			Sb-124	$3,98 \times 10^{-5}$
12.	Kolam -180416	20-04-2016	-	Dibawah limit deteksi*
13.	Kanal -090516	12-05-2016	-	Dibawah limit deteksi*
14.	Kolam -090516	13-05-2016	J-133	$4,78 \times 10^{-5}$
15.	Kanal -240516	26-05-2016	-	Dibawah limit deteksi*
16.	Kolam -240516	26-05-2016	-	Dibawah limit deteksi*
17.	Kanal -160616	20-06-2016	J-133	$4,20 \times 10^{-4}$
18.	Kolam -160616	20-06-2016	J-133	$5,52 \times 10^{-5}$
			Sb-124	$4,26 \times 10^{-5}$

No.	Kode Sampel	Tanggal Analisis	Radionuklida	Aktivitas ($\mu\text{Ci/ml}$)
19.	Kanal -190716	21-07-2016	J-133	$6,20 \times 10^{-4}$
20.	Kolam -190716	21-07-2016	Ce-143	$5,46 \times 10^{-5}$
			Sb-124	$5,20 \times 10^{-4}$
21.	Kanal -190816	23-08-2016	Ce-143	$5,42 \times 10^{-5}$
22.	Kolam -190816	23-08-2016	Ce-143	$5,36 \times 10^{-5}$
			J-133	$5,80 \times 10^{-4}$
			Sb-124	$4,04 \times 10^{-5}$
23.	Kanal -240816	30-08-2016	Ce-143	$5,36 \times 10^{-5}$
24.	Kolam -240816	30-08-2016	Ce-143	$4,72 \times 10^{-5}$
			J-133	$4,40 \times 10^{-4}$
25.	Kanal -070916	09-09-2016	Sb-124	$3,84 \times 10^{-5}$
26.	Kolam -070916	09-09-2016	Ce-143	$5,80 \times 10^{-5}$
			J-133	$5,60 \times 10^{-4}$
			Sb-124	$3,74 \times 10^{-5}$
27.	Kanal -280916	30-09-2016	-	Dibawah limit deteksi*
28.	Kolam -280916	30-09-2016	-	Dibawah limit deteksi*
29.	Kanal -211016	25-10-2016	J-133	$5,32 \times 10^{-5}$
			Sb-124	$4,62 \times 10^{-5}$
30.	Kolam -211016	25-10-2016	-	Dibawah limit deteksi*
31.	Kanal -071116	09-11-2016	Ce-143	$6,24 \times 10^{-5}$
			Cs-137	$2,00 \times 10^{-7}$
			J-133	$6,00 \times 10^{-4}$
32.	Kolam -071116	09-11-2016	Ce-143	$6,60 \times 10^{-5}$
			J-133	$4,80 \times 10^{-4}$
33.	Kanal -291216	30-12-2016	J-133	$5,02 \times 10^{-4}$
34.	Kolam -291216	30-12-2016	-	Dibawah limit deteksi*

Pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa pada tahun 2016 terdapat kontaminasi radionuklida yang ditimbulkan dari pelepasan radionuklida hasil belah, yaitu: Cs-137, Sb-124, J-133 dan Ce-143. 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 teraktivasi 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 umur paro 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 Spektrometri Gamma. Kelarutan Cs-137 dengan dalam air tinggi, sehingga Cs-137 dengan mudah ditransfer ke dalam siklus sistem pendingin air. Radionuklida Sr-90 tidak terdeteksi karena radionuklida ini murni pemancar beta (β -emiter) sehingga tidak dapat dideteksi dengan menggunakan Spektrometer Gamma.

Dengan membandingkan antara aktivitas maksimum radionuklida (Tabel 3) dengan Batas Konten Radioaktivitas tertinggi yang diijinkan [10] / *Limit of Permitted Highest Radioactivity Content* (LPHRC) di lingkungan air menunjukkan bahwa sebagian besar radioaktivitas dari Cs-137 dan Sr-90 dalam sampel air (kanal dan kolam) tidak terdeteksi (tidak ada) dan hanya sekali dideteksi untuk Cs-137 dengan konsentrasi $2,00 \times 10^{-7}$ $\mu\text{Ci/ml}$ pada tanggal 7 Nopember 2016 pada sampel air kanal tapi masih lebih rendah dari LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$).

Radionuklida yang sering terdeteksi yaitu radionuklida hasil belah I-133 dan Sb-124 yang memiliki umur paro pendek yaitu masing-masing 20 jam dan 60 hari. 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 $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$). Konsentrasi tertinggi untuk Sb-124 yaitu $5,2 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$, sedangkan untuk J-133 adalah $6,2 \times 10^{-4}$ $\mu\text{Ci/ml}$.

Produk fisi berupa Ru-103, Nd-147, Y-91, dan Te-131 yang memiliki umur paro 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).

Jika dibandingkan dengan hasil analisis radionuklida pada tahun 2015, maka ada radionuklida baru yang terdeteksi pada tahun 2016 yang tidak pernah terdeteksi pada tahun sebelumnya (2015) yaitu Ce-143. Radionuklida Ce-143 mulai terdeteksi pada tanggal 9 Juli 2016 merupakan radionuklida produk fisi yang mempunyai umur paro 1,4 hari. Konsentrasi tertinggi untuk radionuklida Ce-143 adalah $6,60 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$. Jika dibandingkan dengan LPHRC maka nilai tersebut lebih tinggi dari LPHRC (7×10^2 Bq/L atau $1,891 \times 10^{-5}$ $\mu\text{Ci/ml}$). Radionuklida Ce-143 dimungkinkan berasal dari kegiatan transfer target teriradiasi dimana kegiatan ini dilakukan mulai tahun 2016.

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa ada kontaminasi Cs-137, Sb-124, J-133 dan Ce-143 dalam sistem pendingin air dari fasilitas KH-IPSB3 tidak selalu muncul. Hal ini dimungkinkan karena dioperasikannya unit pemurnian/purifikasi menggunakan resin penukar ion yang mampu menangkap unsur radioaktif kontaminan tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis tingkat kontaminasi radionuklida di kanal (KH) dan kolam (IPSB3) selama periode bulan Januari sampai Desember 2016 dapat disimpulkan bahwa kontaminasi berupa radionuklida hasil belah yaitu Cs-137, Sb-124, J-133 dan Ce-143. Radionuklida Cs-137 yang memiliki waktu paro panjang terdapat dalam sistem pendingin air KH-IPSB3 masih lebih rendah dari batas radioaktivitas tertinggi yang diijinkan (LPHRC). Sedangkan tingkat kontaminasi radionuklida Sb-124, J-133 dan Ce-143 yang memiliki waktu paro sangat singkat kadang-kadang lebih tinggi dari LPHRC yang selanjutnya dapat ditangkap dengan menggunakan sistem purifikasi/pemurnian air. Radionuklida Cs-137, J-133, dan Sb-124 merupakan radionuklida yang sudah muncul pada riwayat hasil analisis pada tahun 2015, sementara radionuklida Ce-143 mulai muncul pada tahun 2016. 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 juga 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. Sudyono, "Pengoperasian Kanal Hubungan Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3)", Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, 2012.
4. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubungan 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. MANSON BENEDICT, et al, "*Nuclear Chemical Engineering*", *Second Edition*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.
7. GUNANDJAR, "Teknologi Nuklir Dan Aplikasinya", Diklat Ceramah Umum di Universitas Pakuan, Bogor, 6 Oktober 2007.
8. R.W.THIELE, "*Nuclear Science and It's Applications*", A Training Manual, IAEA, Vienna, April – July 1979.
9. Zainus Salimin, dkk., "Dokumen Teknis Kajian Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Sedang PLTN PWR 1000 MWe dan Kajian Pengelolaan Limbah RDE Tipe HTR-10" Revisi 0. PTLR – BATAN, Serpong. 2014
10. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 07 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. 2013.