

ANALISIS KANDUNGAN RADIONUKLIDA DI DALAM AIR KOLAM PENYIMPAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS REAKTOR SERBA GUNA G. A. SIWABESSY

Nazly Kurniawan, Anthony Simanjuntak, Yulius Sumarno, Unggul Hartoyo
Bidang Keselamatan Kerja, PRSG-BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KANDUNGAN RADIONUKLIDA DI DALAM AIR KOLAM PENYIMPAN SEMENTARA BAHAN BAKAR BEKAS REAKTOR SERBA GUNA G. A. SIWABESSY. Mutu air pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas (FAK01) harus selalu dipantau, karena radionuklida yang ditimbulkan atau yang terdapat di kolam reaktor dapat mempengaruhi laju dosis radiasi di Balai Operasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan spektrometer gamma. Sampel air pendingin di ruang pemurnian, diambil sebelum dan setelah melalui sistem purifikasi (inlet dan outlet), ketika reaktor beroperasi 15 MW dan ketika reaktor dalam kondisi shutdown, kemudian sampel tersebut dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Radionuklida yang teridentifikasi dalam sampel air sistem FAK01 antara lain : Na-24, Rh-106m, Mn-56, Ar-41, dan Sb-122. Konsentrasi radionuklida tersebut menurun setelah air sistem FAK01 melewati resin penukar ion, kecuali Ar-41. Radionuklida dengan konsentrasi tertinggi yang teridentifikasi adalah Na-24, dengan konsentrasi maksimal sebesar 42272,04 Bq/l (sebelum melalui sistem purifikasi).

Kata Kunci : radionuklida, bahan bakar, radiasi

ABSTRACT

ANALYSIS OF RADIONUCLIDES CONTENT IN THE TEMPORARY SPENT FUEL STORAGE POOL WATER AT THE G. A. SIWABESSY MULTIPURPOSE REACTOR. *Quality of cooling water at spent fuel temporary storage pool (FAK01) has to be monitored, because the radionuclides that are raised or exist in the pool can influence the radiation dose rate at the operation hall. The method which were used in this research were quantitative and qualitative analysis, using gamma spectrometer. Cooling water sample in the purification room, were taken from the inlet and the outlet of the purification system, when the reactor was operated at the power of 15 MW and when the reactor was shut down, then the samples were analyzed qualitatively and quantitatively. Radionuclides identified in the FAK01 system water samples were: Na-24, Rh-106m, Mn-56, Ar-41, and Sb-122. The radionuclides concentration decrease after FAK01 system water passed the ion exchanger resin, except Ar-41. Radionuclide identified which has the highest concentration was Na-24, with maximal concentration in the amount of 42272,04 Bq/l (before passed the purification system).*

Key words : radionuclide, fuel, radiation

PENDAHULUAN

Sistem pendingin reaktor berfungsi antara lain untuk membuang panas yang ditimbulkan dalam teras reaktor sebagai akibat terjadinya reaksi fisi. Panas yang timbul di dalam teras reaktor diambil dan dibawa oleh air pendingin primer untuk kemudian dipindahkan ke sistem pendingin sekunder melalui pesawat penukar kalor. Sebagai medium pembawa panas pada sistem pendingin digunakan air demineral, yaitu air yang telah didemineralisasi oleh sistem purifikasi. Apabila terjadi kebocoran bahan bakar, maka radionuklida hasil belah akan larut dalam air pendingin primer sehingga air ini akan terkontaminasi dan menjadi radioaktif.

Demikian pula apabila terjadi peningkatan kadar logam pengotor yang disebabkan oleh korosi pada

bahan struktur reaktor yang dilalui air pendingin primer, maka logam itu akan teraktivasi ketika transit bersama air di dalam teras sehingga menyebabkan air ini terkontaminasi dan paparan radiasi menjadi meningkat.

Peningkatan kontaminasi air pendingin primer dapat ditekan dan kenaikan laju paparan radiasi dapat dicegah apabila sistem purifikasi air pendingin primer beroperasi dengan normal sesuai spesifikasi tekniknya. Untuk itu perlu dilakukan pengamatan secara kualitatif dan kuantitatif terhadap radioaktivitas air pendingin primer, karena kualitas dan kuantitas radiasi dari radionuklida pengotor yang terdeteksi pada air pendingin reaktor dapat dijadikan indikasi tentang normal atau tidaknya sistem purifikasi air pendingin tersebut.

Sistem pendingin primer dilengkapi dengan beberapa sistem pemurnian air, salah satunya adalah sistem pemurnian air kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas (FAK01).

Sistem pemurnian dan pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas digunakan untuk menjaga mutu air dan mengendalikan suhu air kolam penyimpanan bahan bakar. Komponen – komponen dari sistem ini terbuat dari baja tahan karat (pipa di dalam kolam penyimpanan terbuat dari aluminium). Kolam penyimpanan bahan bakar berisi $\pm 150 \text{ m}^3$ air bebas mineral, dilengkapi dengan dua rak penyimpanan dengan 300 posisi penyimpanan untuk bahan bakar bekas. Sistem didesain untuk dapat memindahkan daya termal maksimum sebesar 65 kW.

Sistem pemurnian dan pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas mengambil produk aktivasi dan pengotor mekanik dari air kolam penyimpanan, serta mengambil panas peluruhan dari bahan bakar bekas di kolam penyimpanan. Filter *mix-bed* penukar ion dan filter resin mekanik dengan kapasitas aliran 20 m³/h digunakan untuk menjaga mutu air kolam penyimpanan agar selalu berada pada harga spesifikasi mutu air kolam reaktor.

Untuk mengetahui mutu air kolam penyimpanan, dilakukan pengukuran, perhitungan dan analisis dengan menggunakan spektrometri gamma. Analisis kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan spektrometri gamma menghasilkan konsentrasi radionuklida (Bq/ l) yang terkandung di dalam air kolam penyimpanan.

DESKRIPSI

Sistem Purifikasi dan Pendingin Kolam Penyimpan Sementara Bahan Bakar Bekas

Sistem purifikasi dan pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas digunakan untuk menjaga mutu air dan mengendalikan suhu air kolam penyimpanan elemen bakar. Kolam penyimpanan elemen bakar berisi $\pm 150 \text{ m}^3$ air bebas mineral, dilengkapi dengan dua rak penyimpanan dengan 300 posisi penyimpanan untuk elemen bakar teriradiasi. Sistem purifikasi dan pendingin kolam penyimpanan bahan bakar bekas mengambil produk aktivasi dan pengotor mekanik dari air kolam penyimpanan, serta mengambil panas peluruhan dari elemen bakar bekas di kolam penyimpanan.

Filter *mix-bed* penukar ion dan Filter resin mekanik dengan kapasitas aliran 20 m³/ h digunakan untuk menjaga mutu air kolam penyimpanan agar selalu berada pada harga spesifikasi mutu air kolam reaktor. Sistem dioperasikan dari Ruang Kendali Utama. Komponen-komponen dari sistem purifikasi dan pendingin kolam penyimpanan elemen bakar teriradiasi terletak pada level - 6,50 m gedung

reaktor, dan terbuat dari baja tahan karat. (Pipa di dalam kolam penyimpanan terbuat dari Aluminium). Sekat pemisah yang memisahkan kolam reaktor dan kolam penyimpanan elemen bakar teriradiasi harus selalu dalam keadaan tertutup selama reaktor beroperasi.

Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Menggunakan Metode Spektrometri Gamma

Metode yang digunakan dalam mengevaluasi air pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas RSG-GAS yaitu dengan Analisis spektrometri gamma. Metode spektrometri gamma dilakukan dengan menganalisis cuplikan air pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas yang diambil dari ruang purifikasi secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan penganalisis salur ganda (MCA) berbasis detektor semi penghantar kemurnian tinggi (HP-Ge). Gangguan radiasi gamma latar belakang dijamin cukup rendah karena pencacahan cuplikan air dilakukan di dalam perisai Pb setebal 10 cm.

Metode spektrometri gamma merupakan metode pengukuran relatif, sehingga untuk identifikasi jenis nuklida dan pengukuran radioaktivitasnya diperlukan kalibrasi pada spektrometer, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar.

Kalibrasi energi diperlukan untuk tujuan analisis kuantitatif spektrometri gamma. Setelah kalibrasi dilakukan secara berulang-ulang dan didapatkan hasil yang mantap dan mempunyai ketelitian tinggi maka dapat dilakukan pengukuran cuplikan. Tentu saja pengukuran cuplikan harus dilakukan pada kondisi alat yang tepat sama dengan kondisi kalibrasi. Puncak – puncak dalam spektrum gamma cuplikan dapat dicatat nomor salurnya ($= X$). Dengan menggunakan persamaan garis kalibrasi: $Y = aX + b$, maka bisa didapatkan harga tenaga puncak gamma ($= Y$) yang bersesuaian.

Energi gamma yang dipancarkan oleh suatu radionuklida adalah salah satu sifat karakteristik dari radionuklida itu. Daftar energi gamma dari berbagai radionuklida disusun dalam suatu tabel yang biasa disebut dengan Tabel Isotop.

Energi gamma cuplikan yang dihitung dari persamaan garis kalibrasi dapat dicocokkan dengan daftar energi tersebut di atas sehingga dapat ditentukan radionuklida apa saja yang terdapat dalam cuplikan.

Analisis kuantitatif dalam spektrometri gamma membutuhkan kalibrasi efisiensi. Dalam pengukuran secara spektrometri, dimana pengukuran hanya ditujukan pada salah satu tenaga dari sekian banyak energi dan mode peluruhan yang ada dalam cuplikan maka efisiensi deteksi masih harus ditentukan oleh harga intensitas mutlak.

$$\% \epsilon (\text{spektrometri}) = \frac{\text{cps}}{\text{dps} \cdot Y} \cdot 100 \%$$

Harga laju cacah cps didapatkan dengan jalan menentukan luas puncak serapan total suatu puncak gamma dan membaginya dengan waktu pencacahan (dalam detik).

$$\text{cps} = \frac{\text{Luas puncak serapan total (cacah)}}{\text{waktu pencacahan (detik)}}$$

Setelah diperoleh kurva kalibrasi energi dan kurva kalibrasi efisiensi yang betul – betul teruji dan dapat dipercaya maka pengukuran cuplikan dapat dilakukan dengan menggunakan kondisi kerja yang tepat sama dengan kondisi kalibrasi. Kondisi – kondisi tersebut antara lain adalah jarak sumber – detektor, tegangan kerja detektor, gain penguat (kasar dan halus), shaping time dan sebagainya.

TATA KERJA

Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat Yang Digunakan :

1. Seperangkat Spektrometer Gamma latar rendah dengan MCA “MAESTRO – 32” eks Ortec berbasis detektor HP-Ge eks Canberra,
2. Merineli kapasitas 1 liter,
3. Jerigen kapasitas 1 liter.

Bahan Yang Digunakan :

1. Sumber standar campuran (multi gamma) Eu-155,
2. Sumber standar Co-60 dan Cs-137,
3. Sampel air pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas.

Penyiapan Sampel Air Pendingin Kolam Penyimpan Bahan Bakar Bekas

Sampel air pendingin di ruang purifikasi, diambil sebelum dan setelah melalui filter (*inlet* dan *outlet*), masing-masing sebanyak 1 liter, kemudian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Sampel diambil ketika reaktor beroperasi 15 MW dan ketika reaktor dalam kondisi *shutdown*.

Analisis Kualitatif dan Kuantitatif

Untuk menentukan jenis radionuklida dan konsentrasi radioaktivitasnya, digunakan spektrometer gamma dengan MCA & detektor HP-Ge. Sebelum melakukan pencacahan cuplikan air, spektrometer gamma dikalibrasi terlebih dahulu efisiensi deteksinya terhadap energi dan energinya terhadap nomor salur dengan menggunakan sumber campuran Eu-155 dan sumber campuran Co-60 dan Cs-137 berbentuk cair dalam merineli berkapasitas 1 liter.

Kalibrasi Energi

Kalibrasi energi pada *multichannel analyzer* (MCA) dimaksudkan untuk mengubah cacahan sebagai fungsi kanal (*channel*) menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Untuk melakukan kalibrasi energi digunakan sumber standar cair multi energi yang berisi nuklida Eu-155 (86,5 keV dan 105,31 keV), Co-57 (122,1 keV dan 136,5 keV), Sn-113 (255,1 keV dan 391,7 keV), Cs-137 (661,65 keV), Mn-54 (834,8 keV), Zn-65 (1115,5 keV), sumber standar cair Co-60 (1173,24 keV dan 1332,5 keV). Penggunaan sumber cair multi energi ini bertujuan agar diperoleh rentang analisis yang luas, atau dengan kata lain agar sistem spektrometri yang digunakan mempunyai cakupan energi gamma yang luas (dari energi gamma sangat rendah hingga energi gamma sangat tinggi). Hasil Kalibrasi energi selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi nuklida yang terdapat dalam cuplikan berdasarkan nilai energinya.

Kalibrasi efisiensi

Kalibrasi efisiensi dilakukan untuk mengetahui efisiensi cacahan detektor pada energi gamma yang dipancarkan. Nilai efisiensi cacahan detektor yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi nuklida di dalam cuplikan. Untuk melakukan kalibrasi efisiensi dibutuhkan sumber standar dengan kondisi pencacahan yang sama ; wujud, geometri, energi gamma, dan lama pencacahan yang sama dengan cuplikan. Apabila tidak didapatkan sumber standar dengan energi yang sama maka masalah ini diatasi dengan membuat kurva efisiensi sebagai fungsi energi. Kurva efisiensi dibuat dengan mencacah sumber standar multi energi gamma dengan energi antara puluhan hingga ribuan keV.

Setelah dilakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi, kemudian masing – masing sampel dicacah selama 3600 detik dan dihitung besaran radioaktivitas dari tiap – tiap radionuklida yang terdeteksi secara langsung. Perlakuan dan kondisi sampel saat pencacahan harus sama dengan kondisi saat kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar.

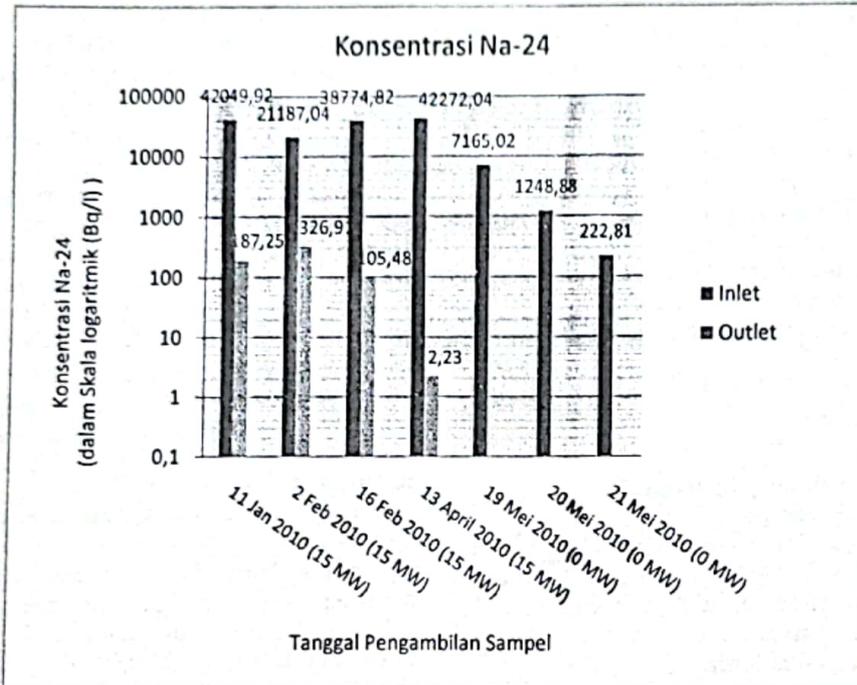
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis radionuklida dalam sampel air sistem FAK01 dilakukan dengan cara mengidentifikasi terlebih dahulu radionuklida – radionuklida yang terkandung di dalam sampel tersebut (kualitatif). Radionuklida – radionuklida yang teridentifikasi dalam sampel air sistem FAK01 antara lain ; Na-24, Rh-106m, Mn-56, Ar-41, dan Sb-122. Kemudian tiap – tiap radionuklida dihitung konsentrasinya (kuantitatif) dan dibandingkan nilai konsentrasinya berdasarkan kondisi operasi reaktor, yaitu ketika

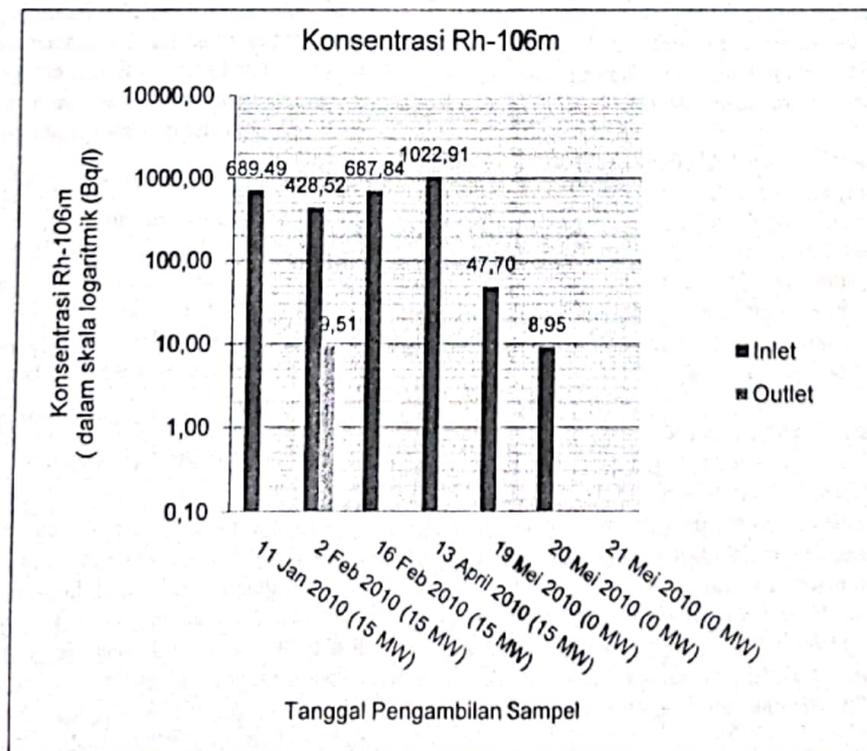
reaktor beroperasi 15 MW dan ketika reaktor dalam kondisi *shutdown*.

Hasil perbandingan kuantitatif tiap – tiap radionuklida dari sampel air sistem FAKO1 (*inlet*

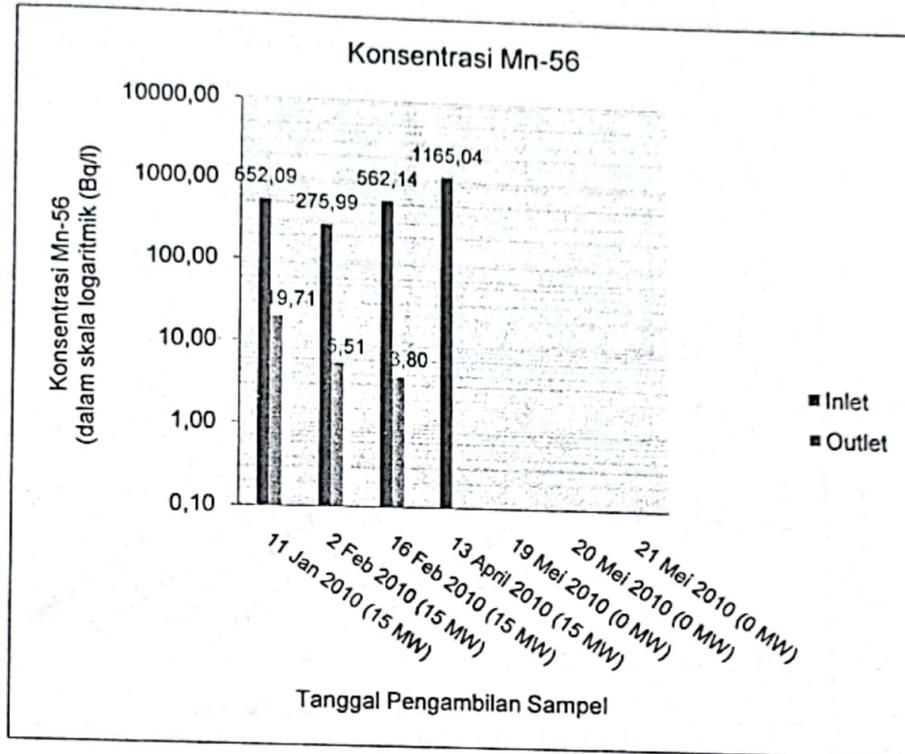
dan *outlet*), pada saat reaktor beroperasi 15 MW dan saat reaktor dalam kondisi *shutdown* disajikan pada Gambar 1. hingga Gambar 5.



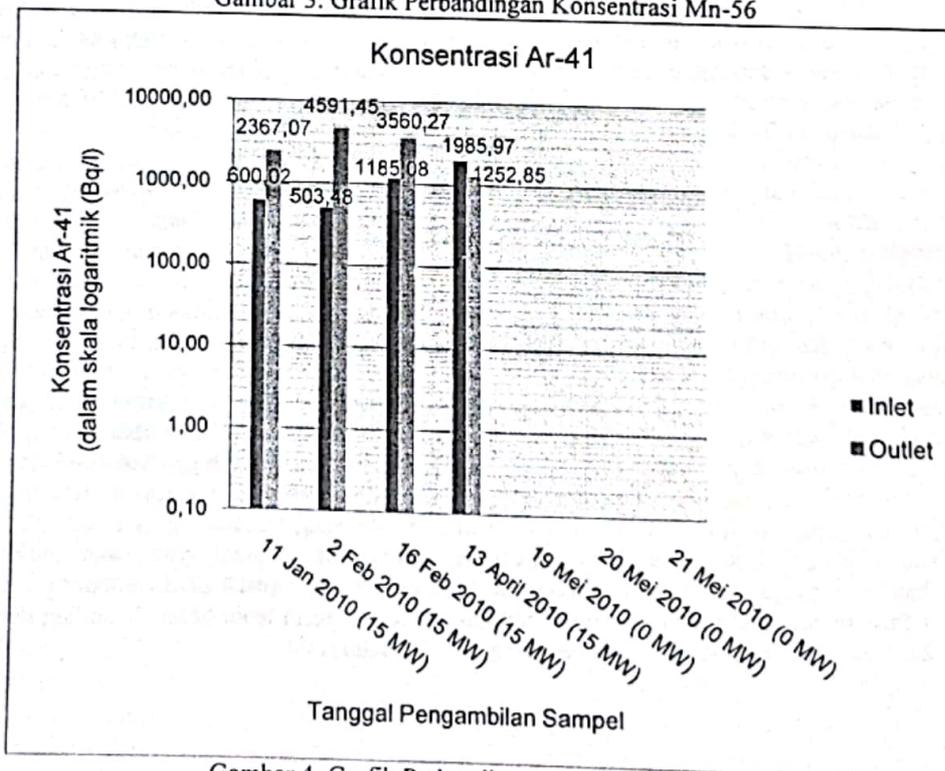
Gambar 1. Grafik Perbandingan Konsentrasi Na-24



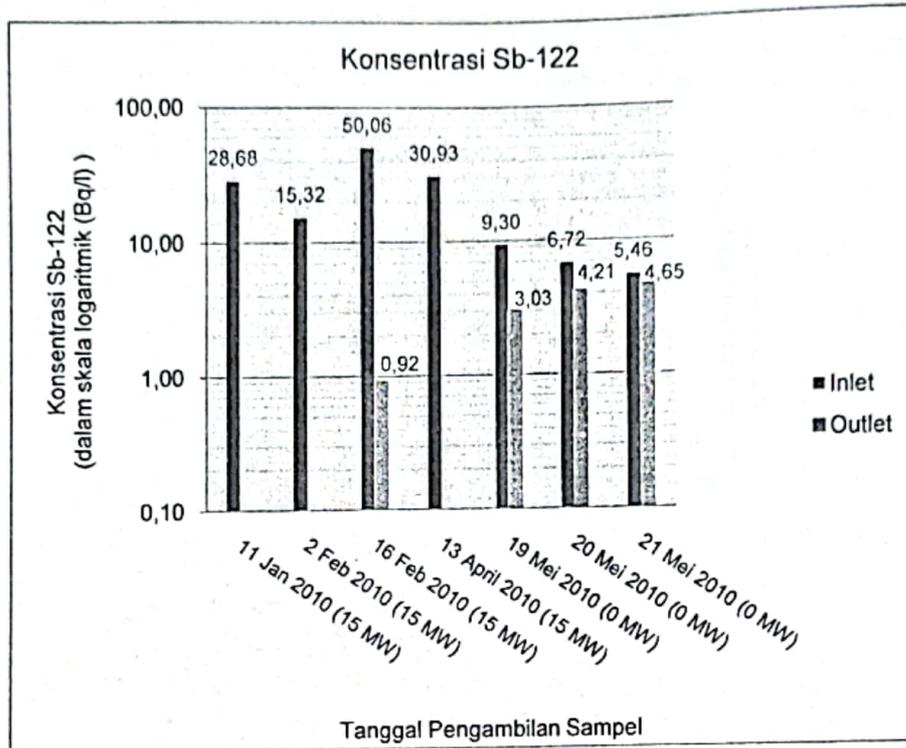
Gambar 2. Grafik Perbandingan Konsentrasi Rh-106m



Gambar 3. Grafik Perbandingan Konsentrasi Mn-56



Gambar 4. Grafik Perbandingan Konsentrasi Ar-41



Gambar 5. Grafik Perbandingan Konsentrasi Sb-122

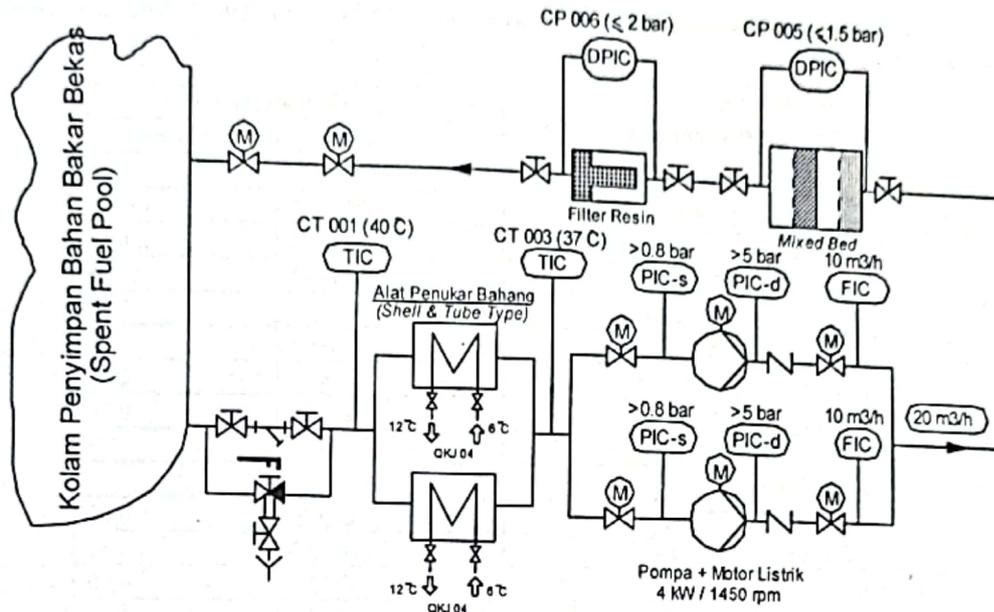
Radionuklida Na-24 (umur paruh = 15 jam) menjadi perhatian khusus karena radiasi disintegrasi yang kuat dari Na-24 dan laju dosis gammanya yang tinggi pada permukaan air. Ada dua sumber penghasil utama Na-24 di reaktor :

1. Aktivasi aluminium,
2. Aktivasi dari kandungan garam residu (Na-23) di kolam reaktor.

Sedangkan Ar-41 bersumber dari isotop argon stabil (Ar-40) yang merupakan bagian dari udara/atmosfer alami di bumi ini dan diaktifkan oleh neutron *thermal* dan *epithermal*, sebagai akibat dari terlarutnya isotop argon stabil tersebut terlarut ke dalam air kolam. Ar-41 yang terbentuk mempunyai umur paruh 1,83 jam. Karena itu aktivitas jenuhnya dicapai pada saat awal selama operasi reaktor.

Dari hasil perbandingan kuantitatif untuk tiap – tiap radionuklida, diperoleh hasil bahwa konsentrasi radionuklida di dalam air setelah melalui resin lebih kecil dibanding dengan sebelum melalui resin, kecuali untuk radionuklida Ar-41. Hasil perbandingan kuantitatif Ar-41 (pada beberapa tanggal

tertentu), menunjukkan bahwa konsentrasi Ar-41 di dalam air pendingin setelah melalui resin lebih besar dibanding dengan sebelum melalui resin. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut; Pada sistem purifikasi FAK01 (seperti ditunjukkan pada Gambar 6.), air dari kolam reaktor dihisap oleh pompa hisap dan dialirkan melewati sistem purifikasi yang berisi resin penukar ion. Pada saat air primer melewati sambungan pipa, belokan, pompa, dan lintasan sistem purifikasi, akan terjadi kavitasi, yaitu pembentukan gelembung udara berlebih di dalam fluida (air) karena fluida mengalir secara turbulen. Salah satu unsur yang terkandung di dalam gelembung udara yang terbentuk tersebut adalah Ar-40. Ar-40 tersebut bertumbukan dengan neutron yang ada dalam air sehingga terbentuk Ar-41, sehingga ketika air dari sistem purifikasi kembali ke kolam, Ar-41 yang terkandung di dalam air menjadi lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan mengapa konsentrasi Ar-41 di dalam air pendingin setelah melalui resin lebih besar dibanding dengan sebelum melalui resin.



Gambar 6. Sistem Purifikasi Kolam Penyimpanan Elemen Bakar Bekas (FAK 01)

Sedangkan, Mn-56 dan Sb-122 merupakan radionuklida hasil aktivasi dari produk korosi yang dihasilkan dari sistem primer. Mn-56 merupakan hasil aktivasi isotop stabil Mn-55, yang merupakan produk korosi dari material yang terbuat dari logam campuran, dan Sb-122 merupakan hasil aktivasi isotop stabil Sb-121, yang merupakan produk korosi dari material yang terbuat dari logam campuran dengan bahan dasar antimon (Sb).

KESIMPULAN

Pada saat pengoperasian Reaktor Serba Guna – G. A. Siwabessy dihasilkan beberapa radionuklida di dalam air pendingin reaktor, termasuk diantaranya di dalam air pendingin kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas. Konsentrasi radionuklida ini cukup tinggi. Namun setelah disirkulasi melewati resin penukar ion, konsentrasi radionuklida di dalam air pendingin berkurang, kecuali konsentrasi Ar-41. Konsentrasi Ar-41 semakin besar karena adanya penambahan

kandungan Ar-41, hasil aktivasi Ar-40 yang terkandung pada gelembung udara yang terbentuk di dalam air pendingin akibat proses kavitasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. McFarland, Robert C; "Some Considerations in Routine Samples Analysis Using Germanium Gamma-Ray Spectroscopy", Analytix, Inc; 1990.
2. Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN, "Laporan Analisis Keselamatan Revisi 9", Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN, Serpong, 2006.
3. Rittersdorf, Ian; "Gamma Ray Spectroscopy", Nuclear Engineering and Radiological Sciences, ianrit@umich.edu, 2007.
4. Susetyo, Wisnu, Drs; "Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron", Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 1988.

Lampiran 1. Konsentrasi Radionuklida yang Dilepaskan ke Air Pendingin Kolam Penyimpan Sementara Bahan Bakar Bekas

Tanggal Pengambilan Sampel	Konsentrasi (Bq/ l)	
	Inlet	Outlet
Na-24		
11 Jan 2010 (15 MW)	42049,92	187,25
2 Feb 2010 (15 MW)	21187,04	326,91
16 Feb 2010 (15 MW)	38774,82	105,48
13 April 2010 (15 MW)	42272,04	2,23
19 Mei 2010 (0 MW)	7165,02	0,00
20 Mei 2010 (0 MW)	1248,88	0,00
21 Mei 2010 (0 MW)	222,81	0,00
Rh-106m		
11 Jan 2010 (15 MW)	689,49	0,00
2 Feb 2010 (15 MW)	428,52	9,51
16 Feb 2010 (15 MW)	687,84	0,00
13 April 2010 (15 MW)	1022,91	0,00
19 Mei 2010 (0 MW)	47,70	0,00
20 Mei 2010 (0 MW)	8,95	0,00
21 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
Mn-56		
11 Jan 2010 (15 MW)	552,09	19,71
2 Feb 2010 (15 MW)	275,99	5,51
16 Feb 2010 (15 MW)	562,14	3,80
13 April 2010 (15 MW)	1165,04	0,00
19 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
20 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
21 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
Ar-41		
11 Jan 2010 (15 MW)	600,02	2367,07
2 Feb 2010 (15 MW)	503,48	4591,45
16 Feb 2010 (15 MW)	1185,08	3560,27
13 April 2010 (15 MW)	1985,97	1252,85
19 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
20 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
21 Mei 2010 (0 MW)	0,00	0,00
Sb-122		
11 Jan 2010 (15 MW)	28,68	0,00
2 Feb 2010 (15 MW)	15,32	0,00
16 Feb 2010 (15 MW)	50,06	0,92
13 April 2010 (15 MW)	30,93	0,00
19 Mei 2010 (0 MW)	9,30	3,03
20 Mei 2010 (0 MW)	6,72	4,21
21 Mei 2010 (0 MW)	5,46	4,65