

## PENGARUH PEMINDAHAN TARGET TERIRRADIASI DARI REAKTOR KE PT.INUKI TERHADAP KUALITAS AIR KANAL KH-IPSB3

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

### ABSTRAK

PENGARUH PEMINDAHAN TARGET TERIRRADIASI DARI REAKTOR KE PT.INUKI TERHADAP KUALITAS AIR KANAL KH-IPSB3. Fasilitas Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) digunakan untuk menyimpan sementara bahan bakar nuklir bekas di dalam suatu kolam yang berisi air pendingin. Di samping itu instalasi kanal hubung penyimpanan sementara bahan bakar bekas juga mempunyai kanal hubung yang berfungsi untuk kegiatan pemindahan sampel material terirradiasi yaitu pemindahan material dari reaktor ke instalasi PT.INUKI. Dalam pemindahan sampel target terirradiasi perlu adanya pengawasan Petugas Proteksi radiasi untuk menjaga agar material terirradiasi yang di bawa atau dipindahkan dari reaktor ke PT.INUKI berjalan dengan selamat. Analisis air kanal setelah dilewati target terirradiasi perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemindahan target terhadap kualitas air kanal. Jenis target iradiasi yang dipindahkan melalui kanal hubung terdiri dari 2 jenis yaitu *Fission Product Molybdenum(FPM)* dan *Telurium Oksida (TeO<sub>2</sub>)*. Dari hasil penelitian dapat diketahui adanya kontaminasi radionuklida hasil belah uranium yaitu Cs-137, I-133, Sb-124 dan Ce-143. Dari kedua jenis target yang melewati kanal hubung, FPM lebih mempunyai potensi kontaminasi air kanal dibandingkan dengan target TeO<sub>2</sub>. Berdasar hasil analisis air kanal setelah dilewati target TeO<sub>2</sub> juga menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida hasil belah yaitu I-133, Sb-124, dan Ce-143. Hal ini dimungkinkan karena pada saat transfer target iradiasi, tidak hanya terjadi transfer target tetapi juga ada transfer/pergerakan air pendingin reaktor ke arah kanal hubung sehingga hasil belah uranium dapat terikut pada saat transfer target yang tidak menimbulkan hasil belah uranium.

**Kata Kunci** Target terirradiasi, KH-IPSB3, Kualitas Air KH-IPSB3.

### ABSTRACT

*INFLUENCE OF TRANSFER OF IRRADIATED TARGET FROM REACTOR TO PT.INUKI ON WATER QUALITY CHANNEL OF TC-ISFSF. Interim Storage for Spent Nuclear fuel (TC-ISFSF) is used to temporarily store spent nuclear fuel in a pond containing cooling water. In addition, the installation of temporary storage intermediate storage channels also has channel connections that function for irradiation material transfer activity ie transfer of material from reactor to radioisotope and radiofarmaka (PRR) installation for PT.INUKI. In the transfer of the target sample irradiated it is necessary to supervise the Radiation Officer to keep the irradiated materials carried or removed from the reactor to PT.INUKI safely. Analysis of the channel water after the irradiated target is to be carried out to determine the effect of target movement on the water quality of the canal. Types of Telurium Oksida (TeO<sub>2</sub>) adiated targets transferred through the connecting channel consist of 2 types: Fission Product Molybdenum(FPM) and TeO<sub>2</sub>. From the research results can be seen that the contamination of uranium-derived radionuclides are Cs-137, I-133, Sb-124 and Ce-143. Of the two target types passing through the connecting channel, FPM has more potential for channel water contamination than the TeO<sub>2</sub> target. Based on the results of the water analysis of the canal after passing the target TeO<sub>2</sub> also shows the contamination of radionuclide that is I-133, Sb-124, and Ce-143. This is possible because at the time of transfer target irradiation, not only transfer target but also there is transfer / movement of reactor coolant water into channel direction so that the result of uranium can be included at the time of transfer of target that does not generate uranium split.*

**Keywords:** Irradiation Target, Channel Of TC-ISFSF, Water quality Channel Of TC-ISFSF

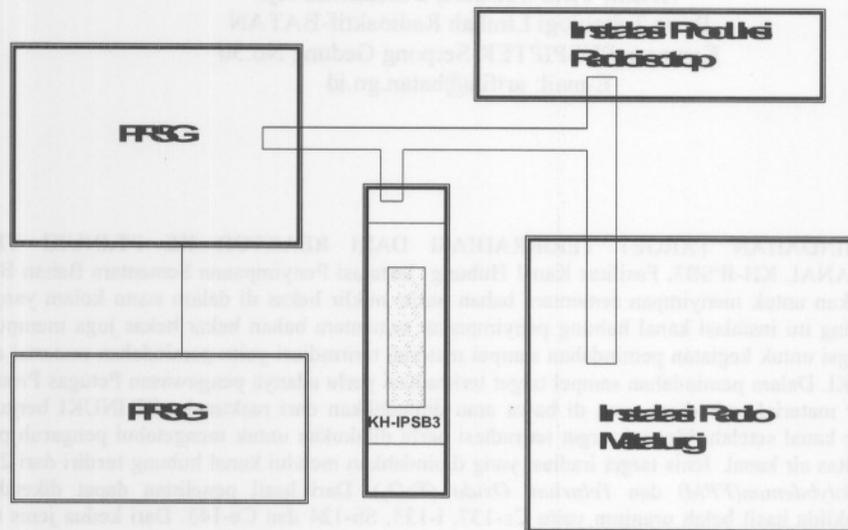
### PENDAHULUAN

Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (KH\_IPSB3) yang ada di Pusat Penelitian Tenaga Nuklir (PPTN) Serpong dibangun pada tahun 1993 dan dirancang oleh Atomic Energy Agency Technology, United Kingdom (UK-AEA). Kanal hubung ini menghubungkan IPSB3 dengan tiga instalasi, yaitu Instalasi Radio Metalurgi (IRM), Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiasi farmaka

(IPRR)/PT INUKI dan Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG), kanal ini berfungsi sebagai jalur untuk memindahkan elemen bakar bekas dari PRSG dan bahan terirradiasi yang berasal dari IPR/PT INUKI dan IRM dengan denah lokasi seperti yang ditunjukkan Gambar 1 Target yang sudah diirradiasi di teras reaktor seperti U<sub>235</sub>, TeO<sub>2</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan FPM melewati *hotcell* dan melalui kanal hubung ditranfer menuju PT INUKI untuk diproses lebih lanjut. Sistem penanganan bahan bakar bekas maupun material terirradiasi terdiri

dari sebuah rel tunggal yang melayani tiga *Mass transfer unit (MTU)*. Setiap MTU mempunyai kemampuan untuk membawa dan memindahkan bahan bakar/bahan radioaktif dari gedung

reaktor, Instalasi Radio Isotop, Instalasi Radio Metalurgi ke bagian utama Kanal Hubung [1,2,3].



Gambar 1. denah lokasi KH-IPSB3

Pada fasilitas KH-IPSB3 perlu diperhatikan hal-hal yang berkaitan dengan keselamatan bagi pekerja radiasi maupun lingkungan, seperti pencegahan terjadinya kecelakaan karena kritikalitas, pencegahan adanya paparan radiasi yang melebihi batas ( $5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ ) dan jatuhnya assembly selama penanganan.

Untuk menghindari paparan radiasi langsung, penanganan bahan bakar bekas dan bahan teriradiasi lain dilaksanakan di bawah permukaan air. Ketebalan lapisan air di atas bahan bakar bekas dan bahan teriradiasi lain dipertahankan sesuai dengan persyaratan keselamatan.

Potensi pelepasan zat radioaktif dibatasi dengan cara sebagai berikut [1] :

- Bahan bakar bekas yang disimpan di KH-IPSB3 didinginkan/diluruhkan dahulu di kolam bahan bakar bekas yang ada di kolam reaktor sekurang-kurangnya selama 100 hari. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kandungan panas dan peluruhan, Iodine-131 yang ada di dalam bahan bakar akan habis meluruh.
- Bahan bakar terkontaminasi dengan tingkat yang tinggi (*heavily contaminated items*) tidak diijinkan disimpan di IPSB3. Bahan bakar percobaan dan bahan bakar reaktor yang cacat harus di tempatkan di dalam wadah atau didekontaminasikan terlebih dahulu sebelum disimpan di KH-IPSB3, Pewadahan dan dekontaminasi menjadi

tanggung jawab pemilik bahan-bahan terirradiasi tersebut.

- IPSB3 hanya digunakan untuk penyimpanan bahan radioaktif, tidak untuk suatu kegiatan yang dapat menimbulkan kontaminasi.

Pertimbangan keselamatan di atas sudah diintegrasikan di dalam desain, khususnya adalah potensi pelepasan materi radioaktif lebih rendah dari ketiga instalasi yang sudah berdiri (RSG-GAS, IPR/PT INUKI dan IRM).

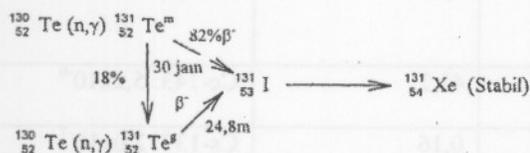
Syarat-syarat perisai radiasi dipenuhi selain oleh ketinggian air di dalam kanal hubung juga oleh ketebalan dinding beton yang memanjang sesuai dengan panjang saluran kanal hubung. Pada operasi normal perisai ini akan menghasilkan dosis radiasi  $< 5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Jalan masuk ke lorong sepanjang kanal hubung adalah melalui KH-IPSB3 dan PRR Lorong ini memberikan kemudahan untuk mengecek dan mengendalikan operasi KH terutama apabila ada masalah dan tidak digunakan sebagai jalan masuk ke instalasi RSG-GAS, IRM dan PRR. Jalan keluar darurat disediakan melalui *hotchell* yang terletak di lorong RSG-GAS dan lorong IRM.

Perawatan terhadap keutuhan kanal hubung dalam kaitannya untuk mempertahankan perisai radiasi selama pemindahan bahan bakar bekas nuklir berlangsung, dipenuhi oleh ketinggian air sepanjang kanal. Sambungan seismik yang fleksibel dipasang di instalasi

dengan tujuan untuk mengantisipasi pergeseran letak pondasi apabila terjadi peristiwa seismik.

Alat utama yang digunakan dalam proses transfer material teriradiasi dari PRSG menuju PT INUKI melalui kanal hubung adalah *Mass Transfer Unit* (MTU). Pelaksanaan kegiatan pengoperasian peralatan MTU untuk pemindahan target teriradiasi dari reaktor ke PT INUKI memenuhi standar keselamatan kerja alat dan personil. Kegiatan pengoperasian peralatan MTU Unit untuk pemindahan target teriradiasi dari reaktor ke PT. INUKI di Kanal hubung Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas sangat mendukung dalam pemanfaatan fasilitas nuklir sehingga alat dapat lebih berdayaguna dan berhasil guna. Target teriradiasi seperti  $U_{235}$ ,  $TeO_2$ ,  $Sm_2O_3$  dan FPM dapat ditransfer dari teras reaktor ke PRR untuk proses lebih lanjut dengan selamat dan tidak mengalami kegagalan [1].

Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel  $TeO_2$  Massa  $TeO_2$  yang diiradiasi 100 gram, target diiradiasi selama 7 x 24 jam, suhu target pada bagian tengah 156,30C dan bagian dinding luar kapsul 51,10C, reaktivitas yang ditimbulkan -0,0066% . Laporan Analisis Keselamatan iradiasi sampel FPM-LEU ( $U_{235}$ ) Iradiasi target yang mempunyai kadar pengkayaan rendah 19,75% dan berat total Uranium 5 gram dapat dilaksanakan, tetapi yang diijinkan untuk diiradiasi seberat 3 gram. Dalam stringer dapat ditempatkan dua buah kapsul. Reaktivitas teras menjadi lebih besar 0,2% dari keadaan awal 9,2% menjadi 9,4% dan secara neutronik kenaikan ini diijinkan oleh SAR. Reaksi yang terjadi dari iradiasi target  $TeO_2$  ditunjukkan sebagai berikut [4,5]:



Kegiatan iradiasi Target FPM-LEU dalam rangka produksi radioisotop  $^{99}Mo$  hasil fisi  $U_{235}$  telah dilakukan secara rutin di RSG-GAS. Iradiasi target FPM-LEU akan memberikan reaktivitas positif. Untuk kondisi FPM yang mengalami kebocoran hal ini akan memberikan reaktivitas positif yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi normal. Sehingga perlu dilakukan analisis netronik untuk menjamin bahwa penambahan reaktivitas positif tersebut masih berada dalam batas yang telah ditentukan. Target Iradiasi FPM-LEU Elektroplating adalah kapsul FPM yang dibuat dengan cara menempelkan uranium pada tabung *stainless steel* (SS) dengan metode elektrokimia. Spesifikasi FPM-LEU adalah sebagai berikut:

FPM-LEU mengandung Uranium Metal yang diperkaya 20%, diameter dalam dan luar kapsul adalah 2,7 cm dan 2,9 cm dan tinggi maksimum plating adalah 40 cm [6].

Ruang lingkup ini meliputi analisis jenis dan konsentrasi radionuklida dalam sampel air kanal KH-IPSB3 setelah dilewati material teriradiasi dari PRSG ke PT. INUKI. Ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan konsentrasi radionuklida yang terkandung dalam air kanal KH-IPSB3 akibat pemindahan material teriradiasi sehingga dapat menjadi data base kualitas air kanal KH-IPSB3.

## METODOLOGI

### Bahan

1. Target (FPM-LEU terirradiasi).
2.  $TeO_2$  (terirradiasi)

### Alat :

1. Mass transfer Unit
2. Trolley
3. Handling tool
4. Lampu sorot.
5. Botol sampling
6. Alat MCA

### Metode

1. Letakkan target pada basket yang ada di trolley MTU, kemudian operasikan MTU dengan menekan tombol "On"
2. Setelah sampai pada kanal PT. Inuki lalu pindahkan target ke trolley PT. Inuki
3. Koordinasi dengan operator PT Inuki untuk di bawa ke kolam transit yang selanjutnya untuk di simpan di hotshell Inuki.
4. Penerimaan dan pemindahan target/material teriradiasi dari PRSG ke PT INUKI harus dilengkapi form pemindahan target
5. Pengambilan sampel air kanal setelah kegiatan pemindahan material teriradiasi dengan cara mengoperasikan sistem purifikasi pada mode 5 dengan menggunakan botol sampel.
6. Analisis sampel air kanal untuk mengetahui kandungan radionuklidanya menggunakan alat spektrometer gamma *Multy Channel Analyzer* (MCA) tipe ORTEC.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pemindahan material teriradiasi melalui kanal hubung fasilitas KH-IPSB3 ini dilakukan sejak tanggal 28 September 2016 sampai dengan 7 Juni 2017. Selama periode ini, jenis material teriradiasi yang ditransfer

terdiri dari  $\text{TeO}_2$  dan FPM. Pada setiap kegiatan pemindahan, operator kanal hubung selalu didampingi oleh PPR sehingga laju dosis pada saat kegiatan berlangsung dapat dipantau dan dikendalikan. Kegiatan transfer material teriradiasi dilakukan di dalam air kanal sepanjang perjalanan dari kanal arah reaktor menuju kanal arah PT INUKI. Air dalam kanal berfungsi sebagai perisai radiasi bagi pekerja radiasi sehingga dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi yang bertugas memindahkan target teriradiasi tidak melebihi nilai batas dosis yang

ditetapkan. Kegiatan pengambilan sampel air kanal dilakukan setelah target teriradiasi dipindahkan melewati air kanal yang bertujuan untuk mendapatkan data dan kondisi anomali yang mungkin terjadi. Sampel air kanal yang diambil adalah sebanyak 500 ml untuk dilakukan analisis menggunakan Multy Channel Analysis (MCA) untuk mengetahui kadar radioaktivitasnya. Data hasil analisis radioaktivitas air kanal setelah pemindahan material teriradiasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Analisis Radioaktivitas Air Kanal Setelah Pemindahan Material Teriradiasi

No.	Tanggal	Bahan Teriradiasi	Jumlah Lintas	Laju Dosis Transfer ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Radioaktivitas air Kanal ( $\mu\text{Ci}/\text{ml}$ )
1.	28 September 2016	$\text{TeO}_2$	1	0,2	TTD ( Tidak Terdeteksi )
2.	21 Oktober 2016	$\text{TeO}_2$	1	0,22	I-133: $5,32 \times 10^{-5}$ Sb-124: $4,62 \times 10^{-5}$
3.	12 Januari 2017	$\text{TeO}_2$	1	0,2	Ce-143: $1,6 \times 10^{-6}$ I-133: $4,6 \times 10^{-4}$
4.	25 Januari 2017	$\text{TeO}_2$	1	0,3	Sb-124: $5,1 \times 10^{-5}$
5.	1 Februari 2017	FPM FPM $\text{TeO}_2$	1	0,22	Ce-143: $5,04 \times 10^{-5}$
6.	8 Februari 2017	FPM	1	4,68	Ce-143: $5,00 \times 10^{-5}$
7.	15 Februari 2017	FPM	1	0,44	TTD
8.	1 Maret 2017	FPM FPM $\text{TeO}_2$	1	0,82	TTD( Tidak Terdeteksi )
9.	8 Maret 2017	FPM	1	0,2	TTD( Tidak Terdeteksi )
10.	15 Maret 2017	FPM FPM $\text{TeO}_2$	1	3,57	TTD( Tidak Terdeteksi )
11.	29 Maret 2017	$\text{TeO}_2$ FPM FPM	1	3,18	TTD( Tidak Terdeteksi )
12.	25 April 2017	FPM $\text{TeO}_2$	1	41,2	Ce-143: $5,2 \times 10^{-6}$
13.	24 Mei 2017	FPM	1	0,16	Cs-137: $2,0 \times 10^{-7}$
14.	31 Mei 2017	FPM $\text{TeO}_2$	1	0,22	TTD( Tidak Terdeteksi )
15.	7 Juni 2017	$\text{TeO}_2$ FPM	1	0,24	TTD( Tidak Terdeteksi )

Tabel 1 menunjukkan bahwa besarnya laju dosis proses pemindahan target teriradiasi berfluktuasi tidak berbanding lurus terhadap hasil analisis kadar radionuklida dalam air kanal. Laju dosis selama proses transfer dipengaruhi oleh letak kedalaman target iradiasi saat dibawa/ditransfer di dalam air kanal. Semakin dalam air yang menjadi perisai radiasi, maka semakin kecil laju dosisnya.

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa radionuklida yang muncul dalam air kanal adalah Cs-137,

I-133, Sb-124, dan Ce-143. Keempat jenis radionuklida tersebut merupakan radionuklida hasil fisi/reaksi pembelahan inti di reaktor nuklir akibat iradiasi material/bahan nuklir. Radionuklida Cs-137 merupakan produk fisi yang penting untuk dipantau karena memiliki umur paro yang panjang (30,17 tahun. Pada

Tabel 1 menunjukkan bahwa Cs-137 hanya terdeteksi sekali yaitu dengan konsentrasi  $2,0 \times 10^{-7}$   $\mu\text{Ci/ml}$ . Radionuklida Cs-137 merupakan pemancar gamma kuat sehingga sangat mudah untuk dianalisa menggunakan Spektrometri Gamma. Kelarutan Cs-137 dalam air tinggi, sehingga Cs-137 dengan mudah ditransfer ke dalam siklus sistem pendingin air di kanal hubung saat target teriradiasi melewati kanal hubung. Dalam sistem purifikasi air kanal juga tersedia kolom Cesium filter yang mempunyai fungsi utama untuk menangkap unsur Cesium dalam air kanal yang disirkulasikan. Radionuklida Cs-137 merupakan radionuklida yang dapat keluar dari kelongsong secara difusi dan masuk ke sistem air pendingin.

Radionuklida I-133 merupakan radionuklida hasil belah yang memiliki umur paro pendek yaitu 20 jam. Radionuklida ini mempunyai yield cukup tinggi dalam reaksi fisi di reaktor nuklir dan dapat juga mendifusi dengan mudah ditransfer ke dalam siklus sistem pendingin air di kanal hubung saat target teriradiasi melewati kanal hubung. Pada Tabel 1 dapat diketahui bahwa radionuklida I-133 terdeteksi 2 kali dengan konsentrasi paling tinggi dibanding radionuklida lain yaitu  $4,6 \times 10^{-4}$   $\mu\text{Ci/ml}$ .

Radionuklida Sb-124 dan Ce-143 juga merupakan radionuklida produk fisi yang mempunyai umur paro pendek yaitu masing-masing memiliki umur paro 60 hari dan 1,4 hari. Radionuklida Sb-124 terdeteksi 2 kali dengan konsentrasi tertinggi radionuklida Sb-124 pada saat kegiatan transfer target teriradiasi adalah  $5,1 \times 10^{-5}$   $\mu\text{Ci/ml}$ . Radionuklida Ce-143 terdeteksi 4 kali dengan konsentrasi tertinggi  $5,04 \times 10^{-5}$   $\mu\text{Ci/ml}$ .

Jenis target teriradiasi yang melewati kanal hubung terdiri dari 2 jenis yaitu FPM dan TeO<sub>2</sub>. TeO<sub>2</sub> di irradiasi di reaktor untuk memproduksi unsur radioaktif I-131. Radionuklida I-131 dapat berada di air kanal karena sifatnya volatile sehingga dapat keluar dari bahan terirradiasi yang selanjutnya terkungkung dalam air kanal. Sedangkan target FPM merupakan Low Enriched Uranium/(Uranium pengkayaan rendah) yang dilakukan iradiasi di reaktor dengan tujuan untuk menghasilkan Mo-99 dari hasil fisi U<sub>235</sub>. Sehingga pada target FPM mempunyai potensi adanya radionuklida hasil belah uranium. Dari kedua jenis target yang melewati kanal hubung, FPM lebih mempunyai potensi kontaminasi air kanal dibandingkan dengan target TeO<sub>2</sub>. Akan tetapi berdasar hasil analisis air kanal setelah dilewati target TeO<sub>2</sub> saja seperti ditunjukkan pada No.2 sampai dengan No.4 juga menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida

hasil belah yaitu I-133, Sb-124, dan Ce-143. Hal ini dimungkinkan karena pada saat transfer target iradiasi, tidak hanya terjadi transfer target tetapi juga ada transfer/pergerakan air pendingin reaktor ke arah kanal hubung sehingga hasil belah uranium dapat terikut pada saat transfer target yang tidak menimbulkan hasil belah uranium.

Radionuklida kontaminan yang berada di dalam air kanal dapat menyebabkan potensi kontaminasi terhadap pekerja radiasi. Sehingga harus dilakukan operasi system purifikasi agar kualitas air kanal sesuai dengan batas kondisi operasi yang dipersyaratkan yaitu  $1,891 \times 10^{-5}$   $\mu\text{Ci/ml}$ .

## KESIMPULAN

Dari kedua jenis target yang melewati kanal hubung, FPM lebih mempunyai potensi kontaminasi air kanal dibandingkan dengan target TeO<sub>2</sub>. Berdasar hasil analisis air kanal setelah dilewati target TeO<sub>2</sub> juga menunjukkan adanya kontaminasi radionuklida hasil belah yaitu I-133, Sb-124, dan Ce-143. Hal ini dimungkinkan karena pada saat transfer target iradiasi, tidak hanya terjadi transfer target tetapi juga ada transfer/pergerakan air pendingin reaktor ke arah kanal hubung sehingga hasil belah dapat terikut pada saat transfer target yang tidak menimbulkan hasil belah.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Sudiyono, "Pengoperasian Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3)", Diktat Pelatihan Operator dan Supervisor KH-IPSB3, 2012.
2. Laporan Analisis Keselamatan Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (LAK KH-IPSB3), rev 7, PTLR – BATAN. 2009.
3. Dyah S Rahayu, *Report of Repatriation for Spent Nuclear Fuel arising from MPR-GAS*, BATAN, Serpong, Tangerang Selatan Banten, Indonesia. 2010.
4. Suwoto, dkk. Optimasi Iradiasi Sulfur dan Tellurium di RSG-GAS. Prosiding Seminar Hasil Penelitian PRSG Tahun 1997-1998.
5. Duyeh Setiawan, dkk., Pengembangan Teknologi Proses Radioisotop Medis I-131 Menggunakan Metode Kolom Resni Penukar Ion untuk Aplikasi Kedokteran

- Nuklir. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Vol 18, No.1 Februari 2017.
- 6. Daddy Setyawan. Verifikasi Pengaruh Kebocoran fpm Terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. 2014

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan mengenai FPM lebih lanjut mengenai pemrosesan limbah nuklir yang mengandung radionuklida. Dengan menggunakan alat analisis yang lebih akurat yaitu TeO, Berhasil hasil analisis ini menunjukkan bahwa kandungan radionuklida pada bahan uji yaitu  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{132}\text{I}$  ini menunjukkan bahwa pada saat analisis telah terdapat radionuklida yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa FPM yang digunakan pada saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setyawan, Daddy. "Verifikasi Pengaruh Kebocoran fpm Terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS." Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. 2014.
2. Daddy Setyawan. "Verifikasi Pengaruh Kebocoran fpm Terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS." Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. 2014.
3. Daddy Setyawan. "Verifikasi Pengaruh Kebocoran fpm Terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS." Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. 2014.
4. Daddy Setyawan. "Verifikasi Pengaruh Kebocoran fpm Terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS." Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir. 2014.

Radionuklida hasil dekontaminasi yang terdapat pada produk yaitu  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  ini menunjukkan bahwa pada saat analisis telah terdapat radionuklida yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa FPM yang digunakan pada saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  merupakan radionuklida hasil dekontaminasi yang terdapat pada produk yaitu  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  ini menunjukkan bahwa pada saat analisis telah terdapat radionuklida yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa FPM yang digunakan pada saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  merupakan radionuklida hasil dekontaminasi yang terdapat pada produk yaitu  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  ini menunjukkan bahwa pada saat analisis telah terdapat radionuklida yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa FPM yang digunakan pada saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

Radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  merupakan radionuklida hasil dekontaminasi yang terdapat pada produk yaitu  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{134}\text{Cs}$  ini menunjukkan bahwa pada saat analisis telah terdapat radionuklida yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa FPM yang digunakan pada saat ini masih belum memenuhi persyaratan yang ditetapkan.