

## KAJIAN KEBERADAAN RADIASI DAN POTENSI LOLOSNYA RADIASI KE LINGKUNGAN OPERASI NORMAL RSG-GAS

Anthony Simanjuntak  
PRSG-BATAN

### ABSTRAK

**KAJIAN KEBERADAAN RADIASI DAN POTENSI LOLOSNYA RADIASI KE LINGKUNGAN OPERASI NORMAL RSG-GAS.** Telah dilakukan kajian keberadaan sumber radiasi dan potensi lepasnya radiasi ke lingkungan pada operasi normal RSG-GAS. Kajian dilakukan sebagai dasar bagi Petugas Proteksi Radiasi di dalam pemahaman keberadaan radiasi, dan potensi lolosnya radiasi ke udara, maupun ke lingkungan serta upaya pengendaliannya selama RSG – GAS beroperasi normal. Metode kajian berupa studi berbagai sistem pendukung pengendalian radiasi yang terpasang di RSG-GAS, yaitu Sistem lapisan air hangat, Sistem Purifikasi, Sistem Ventilasi dan pemahaman sifat nuklida serta data radiasi dari laporan analisis keselamatan RSG-GAS. Keberadaan sumber radiasi di RSG-GAS terdapat pada teras reaktor yang berasal dari berbagai macam nuklida atau unsur kimia yang berbedan mempunyai sifat berbeda pula. Diantaranya bersifat partikulat, halogenida dan gas mulia dengan nuklida hasil dari aktivasi neutron dengan  $U_{235}$  sebagai pengotor (*impurity*) elemen bakar, dan dengan kandungan unsur kimia komponen serta air pendingin yang berada di dalam kolam reaktor selama RSG – GAS beroperasi. Radiasi berpotensi lolos ke lingkungan bergantung dari sifat unsur kimia nuklida. Nuklida partikulat akan tertangkap pada filter resin melalui proses sistem purifikasi dengan sedikit lepas ke udara dikarenakan adanya penguapan pada air kolam, dengan aktivitas pertahun lepas ke udara  $4,3 \times 10^{-5}$  Ci/tahun. Nuklida halogenida lebih banyak lepas ke udara dibandingkan dengan partikulat, dikarenakan sifat halogenida sublimasi dan mudah menguap, aktivitas pertahun lepas ke udara 0.012 Ci/tahun. Nuklida sifat gas mulia paling banyak lolos ke udara dan lingkungan dikarenakan gas mulia tidak bermassa, namun mudah terencerkan dengan udara luar maka tingkat bahaya terhadap pekerja maupun lingkungan sangat kecil. Aktivitas pertahun 750 Ci/tahun. Nuklida teridentifikasi di udara merupakan unsur kimia yang berasal dari komposisi komponen dan air moderator di dalam air kolam reaktor.

**Kata Kunci:** Sumber Radiasi dan Sifat Radionuklida

### ABSTRACT

**A REVIEW TOWARD THE RADIATION SOURCES EXISTENCE AND ITS ESCAPE POTENCY AT THE NORMAL OPERATION OF G.A. SIWABESSY MULTIPURPOSE REACTOR.** A review toward the radiation sources existence at normal operation of G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor and its escape potency to the environment has been carried out. This review is very useful for radiation protection officer for the comprehension of radionuclides existence and the radiation escape potency to the environment, also for radiation control at normal operation of G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor. The review method which has been carried out were study of radiation control supporting system such as; the warm water layer system, purification system, ventilation system, also the comprehension toward radionuclides characters and radiation data in the G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor Safety Analysis Report. The radiation sources in G.A. Siwabessy Multipurpose Reactor which exists in the reactor core can be resulted in the form of different chemical elements with different properties or characters. The radiation different forms of radiation sources can be classified as; particulates, halogens, and noble gas, which are resulted from neutron activation with  $U_{235}$  (as fuel elements impurity) and neutron activation with the reactor pool components and the water in the reactor pool as the reactor moderator, when the reactor is operated. The radionuclides which are escaped to the environment depend on the different property of each radionuclide. The particulate-based radionuclides will be captured by resin filter in the purification system, and several small part of it will slip off and be escaped to the air because of the evaporation process in the reactor pool, and its annual escape to the air of particulate-based radionuclides is  $4.3 \times 10^{-5}$  Ci/ year. The halogen-based radionuclides will be mostly escaped to the air compared to the particulate-based radionuclides. This is because the volatility and sublimation properties of halogen-based radionuclides, and its annual release to the air of halogen-based is 0.012 Ci/ year. The most escaped radionuclides to the air and to the environment is noble gas-based radionuclides. This is because the noble gas-based radionuclide have no mass, but these kind of radionuclides are easily diluted by the outside air, and so that, the noble gas-based radionuclides have the lower hazard level toward the radiation worker or the environment. The annual escaped to the air of noble gas-based radionuclides is 750 Ci/ year. The identified radionuclides in the outside air are several different

chemical elements, which come from the elements of reactor components and its water moderator in the reactor pool.

**Key Words :** Radiation Sources and Radionuclides Character

## PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset yang dioperasikan menggunakan elemen bakar silisida  $U_3Si_2Al$  dengan pengayaan Uranium sebesar  $\pm 19,75\%$  dalam kelongsong  $AlMg_2$ . Moderator yang digunakan berupa air ringan ( $H_2O$ ) yang berfungsi sebagai pendingin teras, memperlambat neutron dan juga berfungsi sebagai penahan radiasi. Reaktor dioperasikan menghasilkan neutron yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan. Neutron yang dihasilkan berasal dari reaksi pembelahan dengan kondisi kritis yaitu reaksi secara terus menerus (berantai) pada teras reaktor. Sehingga terjadi pelipatan neutron hingga neutron yang dihasilkan dapat mencapai fluks  $10^{14}$  n/cm<sup>2</sup>s. Selama proses pelipatan neutron akan menghasilkan unsur yang tidak stabil atau terbentuknya nuklida yang memancarkan radiasi pada teras reaktor.

Untuk mengendalikan agar radiasi tetap berada di dalam air kolam, di RSG-GAS terpasang beberapa sistem yaitu:

- Sistem lapisan air hangat yaitu suhu air pada permukaan kolam yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air yang ada di lapisan bawah;
- Sistem ventilasi dengan konsep mengatur aliran udara pada ruangan di dalam gedung reaktor, dengan cara menciptakan beda tekanan antar ruangan;
- Sistem purifikasi dimana sebagian air di dalam kolam dialirkan melalui filter radiasi (resin) secara kontinyu.

Metode kajian tentang pemahaman keberadaan sumber radiasi di RSG-GAS dilakukan dengan berbagai tahapan diantaranya; studi pemahaman tentang pengendalian radiasi melalui sistem lapisan air hangat, purifikasi, sistem ventilasi, reaksi pembelahan, aktivasi neutron, dan pemahaman sifat nuklida serta data aktifitas radiasi sewaktu reaktor beroperasi normal yang diperoleh dari dokumen laporan analisis keselamatan RSG-GAS.

Dengan demikian hasil pengkajian pada tulisan ini akan diperoleh pengetahuan tentang keberadaan sumber radiasi di RSG-GAS hingga potensi lolos ke udara dan lingkungan. Secara khusus kajian ini berguna bagi Petugas Proteksi Radiasi Instalasi nuklir untuk mendukung pengendalian radiasi sewaktu RSG-GAS beroperasi. Di dalam pelaksanaannya PPR diharapkan akan mampu memperoleh hasil pengukuran radiasi, identifikasi

nuklida dan rekomendasi tepat dan akurat, sehingga selama reaktor beroperasi pekerja maupun lingkungan terhindar dari bahaya radiasi.

## DESKRIPSI

### Sumber Radiasi RSG-GAS

Keberadaan sumber radiasi di RSG-GAS berada pada teras reaktor, dikarenakan selama reaktor beroperasi akan terjadireaksi pembelahan inti antara  $U-235$  dengan neutron di teras reaktor (pembelahan Inti) dan aktivasi neutron dengan bahan yang terdapat di dalam kolam reaktor. Radiasi yang dipancarkan merupakan efek reaksi pembelahan maupun aktivasi sehingga hasilnya menjadi unsur yang tidak stabil yang disebut nuklida (unsur pemancar radioaktif).

Reaksi pembelahan inti terjadi pada teras dapat digambarkan dengan persamaan reaksi sebagai berikut<sup>(1)</sup>.



Suatu inti atom X yang dapat belah (fisis) seperti  $U-235$  ketika ditembak dengan neutron termal ( $n_1$ ) akan membelah menjadi dua inti radioaktif  $Y_1$  dan  $Y_2$ . Dalam reaksi pembelahan tersebut juga dilepaskan 2 atau 3 buah neutron cepat ( $n_c$ ) dan sejumlah energi panas ( $Q$ ).  $Y_1$  dan  $Y_2$  merupakan inti-inti yang aktif (nuklida) yang memancarkan berbagai macam radiasi ( $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ ). Begitu pula akan memancarkan radiasi dari nuklida sewaktu terjadinya aktivasi neutron dengan bahan termasuk target pada fasilitas iradiasi untuk menghasilkan isotop di dalam kolam.

Nuklida yang terjadi di dalam kolam reaktor berpotensi lolos ke udara dari permukaan air kolam, dimana potensi lepas ke udara bergantung dari sifat nuklida. Sifat nuklida dikelompokkan berdasarkan ilmu kimia, yaitu gas mulia, halogen dan partikulat. Potensi nuklida lepas ke udara yang terbesar sampai dengan terendah secara berurutan adalah kelompok gas mulia, halogenida dan kemudian partikulat. Untuk mereduksi potensi radiasi lolos ke udara dan untuk menghindar dari bahaya radiasi bagi pekerja maupun lingkungan, di RSG-GAS terpasang beberapa sistem pendukung yaitu:

- 1) Sistem *warm water layer* (lapisan air hangat), dimana suhu air pada permukaan kolam yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air yang ada di lapisan bawah (lapisan air hangat  $\pm 80$

- Cm tebalnya). Semua nuklida yang akan lepas ke udara cenderung akan ditahan oleh lapisan air hangat akan menahan sehingga nuklida tidak lepas ke udara melainkan selalu bergerak ke bawah kolam reactor, dimana kelompok nuklida yang tertahan di dominasi nuklida partikulat.
- 2) Desain Sistem Ventilasi di dalam gedung Reaktor, dengan konsep mengatur aliran udara pada ruangan di dalam gedung reaktor, dengan cara menciptakan beda tekanan antar ruangan. Dengan demikian tercipta aliran udara dari tekanan tinggi ke rendah atau akan tercipta aliran udara dari ruangan yang mempunyai potensi tingkat kontaminasi radiasi rendah ke ruangan berpotensi radiasi tinggi. Pengaturan beda tekanan ruangan dimaksudkan untuk mencegah aliran udara dari potensi kontaminasi udara ke ruangan lain yang tidak berpotensi terkontaminasi, seperti halnya jika membuka pintu penghubung maupun melalui infiltrasi udara, serta mempermudah pemantauan radiasi udara dan pengendaliannya.<sup>[2]</sup> Hal ini dilakukan oleh karena ketika reaktor beroperasi sejumlah zat radioaktif berpotensi terlepas ke udara ruangan, seperti ruangan: Balai Operasi, Balai Eksperimen, Ruang Bantu dan Ruang Primer. Dengan demikian udara yang akan dibuang ke lingkungan melalui cerobong ke lingkungan telah diatur dengan sistem pengaturan beda tekanan.

- 3) Pada Sistem Purifikasi di dalam kolam reactor, sebagian air di dalam kolam dialirkan melalui filter radiasi (resin) secara kontinyu sehingga dengan dasar sifat nuklida, maka kelompok partikulat dan sebagian nuklida halogenida akan tertangkap pada filter resin, sedangkan kelompok gas mulia selalu lolos (tidak tertangkap oleh filter), tetapi fungsi Purifikasi dapat mereduksi sumber radiasi di dalam kolam reaktor.

Dengan adanya pemahaman ke tiga sistem di atas, maka keberadaan sumber radiasi di RSG-GAS yang berpotensi lolos ke udara maupun lingkungan, dijadikan dasar analisis untuk pengukuran kontaminasi udara ataupun identifikasi nuklida agar hasil yang diperoleh akurat untuk mendukung pengendalian radiasi di RSG-GAS<sup>[1,2]</sup>. Dalam hal ini termasuk penentuan peralatan pemantau radiasi jinjing yang akan digunakan untuk mengukur tingkat populasi radiasi udara atau teknis penentuan identifikasi nuklida dengan menggunakan Multi Channel Analyzer (MCA).<sup>[1,2]</sup>

#### Nuklida dari Produk Fisi dan Aktivasi

Nuklida yang dihasilkan pada teras reaktor di dalam air kolam berasal dari reaksi pembelahan dan aktivasi neutron dengan bahan.

#### Nuklida dari Produk Fisi

Komponen-komponen utama didalam kolam reaktor elemen teras RSG-GAS ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Teras Reaktor

Berbagai radionuklida produk fisi yang dihasilkan dari elemen bakar U-235 pengoperasian reaktor nuklir di dalam elemen bakar, dimana akan menghasilkan fragmen radionuklida yang mengisi rongga yang terdapat pada struktur bahan bakar

Uranium. Pembentukan radionuklida ini berlangsung terus selama reaktor beroperasi.

Berbagai radionuklida dan kelompoknya hasil belah atau produk fisi yang dihasilkan terbagi pada 3 (tiga) kelompok:

- Gas mulia yaitu Kr-85, Kr-85M, Kr-88, Xe-133, dan Xe-135
- Halogenida yaitu I-131, I-133,
- Dan partikulat seperti Cs-134, Cs-137, Sr-90, Ru-106, Ba-140, dan Te-132

Radionuklida produk fisi(hasil belah) yang terbentuk pada reaksi pembelahan tertampung pada kisi-kisi struktur bahan bakar dalam bentuk gelembung gas. Ketika temperatur elemen bakar naik, maka gelembung gas bertambah besar ukurannya dan bersama dengan pengotor lainnya pindah keluar dari kisi-kisi. Selanjutnya akan menempati celah antara elemen bakar dan kelongsong. Dalam kondisi normal kelongsong telah diperhitungkan mampu menahan beban tekanan gas yang tertampung di dalamnya selama bahan bakar di dalam teras maupun setelah bahan bakar dikeluarkan dari teras.

#### Nuklida dari Aktivasi Neutron

Berbagainuklida yang terjadi di dalam air kolam akibat aktivasi neutron dengan berbagai bahandi dalam kolam diantaranya adalah.

#### Aktivasi Neutron dengan Moderator

Aktivasi neutron dengan air bebas mineral (moderator) akan menghasilkan nuklida seperti

Isotop nitrogen N-16,  $T_{1/2} = 7.13$  detik, Oksigen O-19,  $T_{1/2} = 26.8$  detik, N-17,  $T_{1/2} = 4.20$  detik dan N-13 dengan  $T_{1/2} = 9,96$  menit.

#### Aktivasi Neutron dengan Material Kolam Reaktor

Kolam reaktor berbentuk silinder merupakan bagian integral dari gedung reaktor yang tahan terhadap gempa bumi. Untuk tujuan sebagai perisai maka digunakan beton dengan kerapatan yang tinggi di bawah kolam reaktor hingga ketinggian +8,25 m, dengan kerapatan nominal 3,6 kg/dm<sup>3</sup>. Untuk membatasi atau mencegah kebocoran dari kolam reaktor bahkan pada kondisi-kondisi seismik, pada ketinggian sampai +7,75 m secara khusus disekat oleh *joint-sheet* dan beton yang sesuai dengan persyaratan DIN 1048.

Dengan pertimbangan aspek operasional, kolam reaktor dan kolam penyimpanan elemen bakar yang berdekatan dan kamar tunda dilapisi dengan lapisan Aluminium yang terbuat dari AlMg<sub>3</sub>. AlMg<sub>3</sub> memiliki kandungan Magnesium hingga 3%, memiliki hambatan terhadap korosi yang baik. Berikut ini merupakan data tentang komposisi kimia AlMg<sub>3</sub>.

Tabel 1. Komposisi Kimia(%)<sup>[3]</sup>

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Be	totaltri	Al
0,4	0,4	0,05	0,5	2,6-3,4	0,3	0,2	0,1	0,0008	0,15	resto

Dengan demikian akan berpeluang jika terjadi korosi pada komponen kolam, nuklida yang terbentuk dari kandungan komposisi tabel di atas akibat aktivasi dengan neutron.

#### Aktivasi Neutron dengan material Teras & Tabung Berkas

Material teras terdiri dari pelat kisi dan tabung berkas termasuk reflektor yang merupakan kesatuan dari teras, dimana selama reactor beroperasi akan teraktivasi oleh neutron.

#### Pelat kisi dan selubung teras

Komponen-komponen teras reaktor disusun pada pelat kisi dengan posisi 10 x 10. Pelat kisi dengan ketebalan 127 mm mempunyai 100 lubang yang identik yang pas untuk elemen bakar, elemen kendali, elemen reflektor Beryllium dan posisi iradiasi. Ujung *fitting* dari elemen-elemen ini diarahkan secara pasti oleh lubang-lubang tersebut. Lubang-lubang tambahan yang lebih kecil ditempatkan diantara lubang-lubang utama untuk mendinginkan luas permukaan elemen-elemen. Pin

pada elemen berfungsi untuk mengatur orientasi elemen-elemen dengan memasukkan ke dalam lubang-lubang di dalam ujung *fitting* bawah elemen. Pelat kisi dikelilingi oleh selubung teras untuk mengarahkan aliran pendingin melalui komponen-komponen teras reaktor. 14 pipa ditempelkan di luar selubung teras yang digunakan untuk tujuan iradiasi.

Penyangga teras dengan katup sirkulasi alam, struktur penyangga merupakan struktur dasar untuk semua komponen teras reaktor. Kotak dengan penguatan bertulang tersebut dihubungkan dan dilas ke dalam kolam reaktor. Kotak ini memindahkan semua gaya dari pelat kisi, selubung teras dan blok Beryllium pada dudukan tersebut dan dipasang ke pondasi beton. Selain fungsinya untuk menyangga, kotak penyangga juga mengarahkan pasokan air pendingin. Lubang dengan katup sirkulasi disediakan pada masing-masing kedua sisi di bawah reflektor Beryllium. Jalur hisap primer dihubungkan ke sisi ketiga dari kotak tersebut. sisi keempat tertutup. Apabila ada gangguan pada pompa primer, dua katup sirkulasi dibuka dengan berat mati. Setelah pompa dihidupkan, kedua katup dihisap

dengan membentuk tekanan negatif dan menutup lubang. Air pendingin kemudian terhisap melalui teras reaktor dan celah di dalam blok Beryllium.

### Reflektor

Berilium digunakan sebagai bahan reflektor untuk mengelilingi teras reaktor aktif dengan reflektor optimum. Dua sisi dari teras reaktor aktif ditutup oleh dua baris elemen Beryllium untuk menyediakan cukup fleksibilitas untuk memasukkan perlengkapan iradiasi seperti yang dibutuhkan.

Elemen Beryllium terdiri atas *fitting* ujung bawah yang pas masuk ke dalam lubang pelat kisi, batang Beryllium berbentuk segi empat dengan ketinggian 683 mm dan dimensi penampang lintang luar 79 mm x 75 mm. Sebagian dari elemen reflektor Beryllium disediakan dengan satu lubang dengan diameter 50 mm untuk pemasukan sampel iradiasi. Komposisi kimia Beryllium yang digunakan ditunjukkan pada tabel berikut:

**Tabel 2.** Komposisi Kimia Beryllium dengan *Grade* Nuklir<sup>[3]</sup>

Beryllium Assay	% berat (minimum)	98,0
Beryllium oksida	% berat (maksimum)	2,0
Aluminium	ppm (maksimum)	1500
Boron	ppm (maksimum)	5
Kadmium	ppm (maksimum)	5
Kalsium	ppm (maksimum)	200
Karbon	ppm (maksimum)	1500
Kromium	ppm (maksimum)	400
Kobalt	ppm (maksimum)	10
Tembaga	ppm (maksimum)	200
Besi	ppm (maksimum)	1800
Timbal	ppm (maksimum)	20
Litium	ppm (maksimum)	5
Magnesium	ppm (maksimum)	800
Mangan	ppm (maksimum)	400
Molybdenum	ppm (maksimum)	20
Nikel	ppm (maksimum)	400
Silikon	ppm (maksimum)	800
Perak	ppm (maksimum)	10
Seng	ppm (maksimum)	10

### Tabung Berkas

Sebanyak 6 lapisan tabung berkas tersedia dari kolam ke balai eksperimen di lantai +1,45 m dan +1,65 m. Seperti halnya lapisan tabung berkas, *linier flanges* disisipkan di dalam beton perisai. Setiap tabung berkas dilengkapi dengan *thimble* yang kedap air yang berakhir pada suatu jarak sekitar 150 mm dari dinding lapisan tabung berkas, kecuali *Thimble* di S1 sudah mengalami modifikasi karena digunakan untuk fasilitas *Xenon-loop* dan di S2 yang digunakan untuk fasilitas Neutron Radiografi (NR). Apabila terjadi retakan pada tabung berkas, *thimble* yang tidak terbuka terhadap *stress* patah akan mencegah kebocoran air kolam. Apabila tabung berkas tidak digunakan, maka dapat diisi dengan air dan *thimble* ditutup dengan

memasukkan penutup beton ke dalamnya. Pintu tabung berkas yang terletak di dalam balai eksperimen diberi perisai untuk menjaga agar paparan radiasi tetap rendah. Keenam tabung berkas dilengkapi dengan pelindung kedua yang akan mencegah kebocoran air kolam reaktor, kendatipun ada retakan pada tabung berkas. Pelindung kedua ini dibentuk oleh *thimble*. *Thimble* dan tabung berkas dianggap sebagai satu unit. *Thimble* yang dibuat dari  $AlMg_3$  dikencangkan dengan baut ke *linier flanges* luar dari tabung berkas dan berakhir di dalam beton perisai 130 mm sebelum masuk ke kolam sehingga tabung berkas pemantul tidak mempengaruhi *thimble*. *Flens*, baut dan ketebalan dinding *thimble* dirancang untuk tahan terhadap *water-hammer* karena retakan tabung berkas tiba-tiba dan

gempa bumi. Oleh sebab *thimble* merupakan komponen yang pasif, maka tidak diperlukan perawatan. Kebocoran dapat terdeteksi dengan mengisolir dan mengosongkan tabung berkas. Kebocoran yang mungkin dapat terlihat dari gelas pandang di dalam *header* pengosongan tabung berkas.

### Perisai Teras Reaktor

Untuk penempatan perisai teras reaktor ada dua susunan perisai utama yaitu perisai biologi pada arah radial dan lapisan air di atas teras reaktor pada arah aksial. Lapisan ke arah Beryllium blok dinyatakan sebagai “Seksi 1” dan ke arah Beryllium elemen sebagai “Seksi 2”.

**Tabel 3.** Susunan Perisai Teras Reaktor Ke Arah Radial<sup>[3]</sup>

Dimensi, cm	Susunan Pemasangan Perisai			
	Seksi 1		Seksi 2	
	Ketebalan	Radius	Ketebalan	Radius
Teras reaktor		30,84	-	32,40
Beryllium / Air	-	-	16,20	48,60
Aluminium / Air	1,30	32,14	1,30	49,90
Beryllium	10,00	42,14	-	-
Beryllium / Air	5,00	47,14	-	-
Beryllium	20,00	67,14	-	-
Air	182,86	250,00	200,10	250,00
Aluminium	1,00	251,00	1,00	251,00
Beton berat	139,00	390,00	139,00	390,00
Beton biasa	60,0	450,00	60,00	450,00

Perisai teras reaktor ke arah aksial memiliki tinggi lapisan air sekitar 10 m di atas teras selain adanya struktur Aluminium pada ujung atas elemen bakar

keberadaan sumber radioaktif hingga lolos ke udara maupun ke lingkungan.

### METODE KAJIAN

Metode yang digunakan untuk pemahaman keberadaan sumber radiasi dengan cara sebagai berikut :

- 1) Melakukan pendalaman ilmu tentang reaksi pembelahan terhadap elemen bakar dimana nuklida yang dihasilkan tetap berada di dalam kelongsong bahan bakar dan tidak akan pernah lolos ke air pendingin reaktor (moderator reaktor);
- 2) Identifikasi nuklida produk fisi aktivasi neutron dengan faktor pengotor Uranium pada permukaan elemen bakar sewaktu elemen bakar di fabrikasi;
- 3) Identifikasi nuklida dari aktivasi neutron dengan komponen yang berada di dalam kolam reaktor, dengan pendalam tentang kandungan unsur yang terdapat pada komponen;
- 4) Melakukan pendalaman sifat nuklida di dalam kelompok gas mulia, halogenida dan partikulat.

Dengan melakukan metode kajian keempat hal di atas , unsur kimia yang berubah menjadi radioaktif (nuklida), akibat dari reaksi pembelahan dan aktivasi neutron maka akan di pahami

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengoperasian RSG-GAS, radiasi yang dihasilkan bermula berada di dalam kolam dari berbagai nuklida dari reaksi pembelahan dan aktivasi neutron. Nuklida produk fisi berasal dari reaksi pembelahan akan selalu terkungkung didalam elemen bahan bakar. Sedangkan nuklida produk fisi seperti  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  dan lain-lain yang terdapat di dalam air kolam adalah berasal dari pengotor elemen bakar yang terkontaminasi uranium dengan tingkat kontaminasi yang rendah. Sedangkan potensi nuklida yang dihasilkan dari produk aktivasi bergantung dari pada kandungan komponen yang terdapat di dalam kolam reaktor. Berbagai nuklida yang dihasilkan dari aktivasi neutron dengan air kolam seperti  $^{16}\text{N}$ ,  $^{17}\text{N}$ ,  $^{19}\text{O}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{24}\text{Na}$ , nuklida gas mulia, sedangkan nuklida partikulat yang dihasilkan berasal dari kandungan komponen yang terdapat di dalam kolam reaktor yang lepas dan terlarut di dalam air kolam. Adapun komponen di dalam kolam terdiri dari :

- bahan prisai teras,
- tabung berkas,
- reflektor,
- plat kisi dan selubung teras
- dan kolam reaktor.

- Target yang ada pada fasilitas iradiasi Dengan demikian bila di dalam identifikasi nuklida air kolam reaktor ditemukan nuklida partikulat sama dengan unsur kandungan komponen di dalam kolam maka komponen tersebut berpotensi mengalami korosi.

Potensi nuklida lepas ke udara yang terbesar sampai dengan terendah secara berurutan adalah kelompok gas mulia, halogenida dan kemudian partikulat hal ini dikarenakan:

- Gas mulia tidak bermasa, selalu lolos ke udara dan mengingot saat lolos ke udara segera terencerkan dengan udara sehingga radiasi yang dipancarkan tidak akan membahayakan pekerja dan lingkungan. Nuklida gas mulia yang berpeluang lolos dan terpantau adalah adalah:
  - Udara yang terlarut di dalam air kolam yaitu Argon ( $Ar_{41}$ )
  - Gas-gas mulia (nuklida) dari produk fisi yang berasal dari kontaminasi Uranium elemen bahan Bakar seperti nuklida  $Xe_{133}$
  - Jika RSG-GAS di Operasikan dengan daya maksimal pelepasan gas mulia ke udara adalah 750 Ci/tahun
- Mengingat sifat halogenida mudah menguap, sublimasi dan berbentuk senyawa maka ada sebagian lepas ke udara dan lingkungan sedangkan yang bersifat elemen (partikulat) akan tertangkap di filter resin melalui sistem purifikasi yang terpasang di dalam kolam. Nuklida halogenida yang terpantau dari pengoperasian reaktor adalah Iodin (I) dan Boron (Br) dan jika RSG-GAS di Operasikan dengan daya maksimal pelepasan gas halogenida ke udara adalah 0.012 Ci/tahun<sup>[2,4]</sup>.
- Nuklida Partikulat yang terjadi di dalam air mempunyai masa yang lebih besar di bandingkan dengan halogenida maka secara keseluruhan partikulat akan tertangkap di filter resin yang ada di dalam kolam. Peluang lolos ke udara sangat kecil kecuali terjadi penguapan di dalam kolam

## DISKUSI

**Nama Penanya : Puspitasari Ramadania (PRSG)  
Pertanyaan :**

Dengan jumlah potensi lolosnya radiasi ke lingkungan, langkah efektif untuk mencegah unsur halogenida yang lepas ke udara, dimana sifat halogenida yang mudah sublimasi dan mudah menguap.

**Jawaban :**

Dalam makalah ini lebih ditekankan pda berapa besar potensi radiasi yang bisa terjadi di lingkungan, sehingga bisa mengarahkan tugas PPR ke arah yang lebih jelas dan kajian yang nantinya dilakukan PPR juga ditambah dengan pengetahuan potensi bahaya

Reaktor dan jika RSG-GAS di Operasikan dengan daya maksimal akibat penguapan, pelepasan nuklida partikulat ke udara tingkat aktivitas adalah  $4,3 \times 10^{-5}$  Ci/tahun

## KESIMPULAN

- Dari uraian di atas dapat dirangkum bahwa sumber radiasi di RSG-GAS bermula keberadaannya berada di dalam kolam reaktor yang dihasilkan nuklida dari reaksi pembelahan ( nuklida pruduk fisi) dan nuklida aktivasi netron dengan bahan yang terdapat di dalam kolam reaktor ( nuklida bergantung terhadap unsur kimia pada komponen yang teraktivasi).
- Nuklida berada di dalam kolam dan berpeluang akan mengkontaminasi ruangan maupun lingkungan dengan potensi kontaminasi terbesar adalah nuklida gas mulia, halogenida dan sedikit nuklida partikulat yang lepas ke udara ataupun lingkungan..
- Sebagai dasar pemikiran bagai Petugas Protesis Radiasi RSG – GAS melakukan pengendalian radiasi reaktor untuk melakukan pemantauan ataupun identifikasi nuklida, pemberian rekomendasi secara tepat dan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA.

1. **ANONIM, BAPETEN**, No.4/Ka.BAPETEN/ V-13, Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta 2013;
2. **ANONIM, PRSG BATAN** No.RSG.KK. 01.02.61.11 tentang Prosedur Pengendalian Daerah Kerja Bahaya Radiasi di RSG-GAS;
3. **ANONIM**, Laporan Analisis Keselamatan, LAK. RSG-GAS Rev.10. PRSG–BATAN, Serpong 2011;
4. **WILBRAHAM**, Kimia Organik 1, Jakarta Erlangga, 1992

yang dimiliki RSG-GAS terutama unsur-unsur halogenida, gas mulia dan partikulat

**Nama Penanya : AC Prasetyawati (PTBBN)  
Pertanyaan :**

- Pernahkah RSG-GAS operasi tidak normal?
- Periode pengukuran lolosnya radiasi ke lingkungan, waktunya kapan? Atau misal setiap hari/tiap minggu
- Apakah saat off operasi RSG juga di ukur atau setelah operasi

**Jawaban :**

- Pernah waktu iradiasi FPM (target FPM)
- Dilakukan sesuai dengan SOP RSG-GAS

