

PENENTUAN KONSENTRASI LEPASAN RADIOAKTIF UDARA DI CEROBONG RSG-GAS

Anthony Simanjuntak, Nugraha Luhur

ABSTRAK

PENENTUAN KONSENTRASI LEPASAN RADIOAKTIF UDARA DI CEROBONG RSG-GAS. Udara buangan RSG-GAS di buang melalui cerobong berpeluang mengandung kandungan radioaktif berupa partikulat, Iodine dan gas mulia. Pengukuran untuk penentuan konsentrasi radioaktif dilakukan secara langsung dan bersamaan, dengan menggunakan peralatan model PING 1A dengan cara mencuplik udara yang akan di buang. Udara dialirkan lewat filter partikulat, arang aktif dan ruangan udara (*vessel*). Pada peralatan terpasang masing masing detektor dipermukaan filiter partikulat, arang aktif dan ruangan udara (*vessel*) yang digunakan mendeteksi udara radioaktif kandungan partikulat, Iodine dan gas mulia. Pengukuran dilakukan pada kondisi reaktor tidak beroperasi, reaktor beroperasi 15 MW dengan sistem lapisan air hangat permukaan kolam dioperasikan, dan reaktor beroperasi 15 MW sistem lapisan air hangat tidak dioperasikan. Diperoleh hasil pengukuran kandungan udara radioaktif partikulat dengan variasi kondisi di atas berturut turut adalah $7.88E-13$ Bq/l, $2.53E-12$ Bq/l dan $7.92E-12$ Bq/l, Iodine diperoleh setiap kondisi sebesar $1.24E-10$ Bq/l, sedangkan untuk kandungan udara gas mulia $7.88E-13$ Bq/l, $2.44E-12$ Bq/l, dan $6.65E-12$ Bq/l. Hasil menunjukkan bahwa peralatan dapat digunakan untuk penentuan tingkat konsentrasi udara partikulat, Iodine, dan gas mulia yang dibuang ke lingkungan dan nilai tingkat konsentrasi nuklidanya yang diperoleh lebih kecil dari pada yang dipersyaratkan oleh peraturan dan perundang-undangan yaitu $7.00 \times E-02$ Bq/l.

Kata kunci : konsentrasi lepasan partikulat, Iodine, dan gas mulia, udara buangan, cerobong.

ABSTRACT

DETERMINATION OF RADIOACTIVE RELEASED CONCENTRATION AT RSG-GAS STACK. The RSG-GAS discharged air is released to environment via stack. The possibility of air Particulate, Iodine and Noble Gas. Measurement of determining the radioactive concentration was done directly and simultaneously using equipment PING 1A model by discharged air sampling. The air was passed through the particulate filter, active carbon and air vessel. That equipment is equipped with 3 detectors and each detector is installed on the surface of particulate filter, active carbone and air vessel for detecting the Particulate, Iodine, and Noble Gas. Measurement was conected with 3 reactor conditions that are shutdown, 15 MW operation with and without operating of warm water layer. The result of the measurement were: $7.88E-13$ Bq/l, $2.53E-12$ Bq/l and $7.92E-12$ Bq/l for particulate in repective reactor conditions, and $1.24E-10$ Bq/l for iodine in each conditions. While for Noble gases were $7.88E-13$ Bq/l, $2.44E-12$ Bq/l and $6.65E-12$ Bq/l. Is showed that this equipment model is able to be used for determining the air radioactive concentration and the result of the measurements were smaller than limit of $7.00E-02$ Bq/l in accordance with regulation and legislation

Key Words : release concentration of particulate, Iodine and noble Gases, air throw, stack

PENDAHULUAN

Reaktor Nuklir Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset yang dioperasikan menggunakan elemen bakar silisida U_3Si_2Al dengan pengayaan Uranium sebesar $\pm 19,75\%$ yang dapat dioperasikan dengan daya penuh 30 MW, yang menghasilkan fluks neutron sebesar $2,3 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$.^[1] Dalam pengoperasian RSG-GAS udara buangan dari dalam gedung reaktor ke lingkungan yang dibuang melalui cerobong (*stack*), merupakan syarat untuk dikendalikan agar dampak pengoperasian reaktor yang berupa kandungan udara radioaktif memenuhi persyaratan buangan ke lingkungan sesuai dengan peraturan perundang undangan. Dalam pelaksanaannya RSG-GAS berkewajiban melakukan pengendalian udara buangan dengan melakukan penentuan tingkat konsentrasi radioaktif supaya beroperasinya RSG-GAS tidak menimbulkan pencemaran udara radioaktif terhadap lingkungan. Udara buangan RSG-GAS berpotensi mempunyai kandungan radioaktifitas berupa partikulat, Iodine dan gas mulia. Untuk melakukan penentuan lepasan radioaktif dari ke tiga jenis kandungan radioaktifitas diperlukan masing masing peralatan pemantau radioaktif.

Metode pemantauan menentukan konsentrasi radioaktif dapat dilakukan dengan pengukuran langsung dan tidak langsung (*sampling*), namun dari ke dua metode ini untuk pemantauan udara buangan ke lingkungan yang efektif digunakan adalah pengukuran langsung oleh karena pengukuran ini dapat mengetahui langsung nilai tingkat radioaktivitas buangan secara terus menerus (*kontinyu*).

Penentuan konsentrasi radioaktivitas udara buangan secara kontinyu dilakukan dengan memantau udara di cerobong RSG-GAS. Adapun cara yang dilakukan dengan

mencuplik udara dengan menggunakan pompa hisap, dialirkan ke dalam peralatan pantau melewati filter partikulat, filter arang aktif dan tabung udara (*vessel*). Kemudian dipermukaan filter partikulat, filter arang aktif (*charcol*, dan tabung udara terpasang masing masing sebuah detektor pemantau ke dua filter, dan tabung (*vessel*) dari hasil pemantauan dari ketiga detektor dapat ditentukan lepasan radioaktif udara ke lingkungan. Peralatan pemantau untuk penentuan konsentersasi udara yang digunakan adalah peralatan model PING-1A dimana peralatan ini dapat mengukur langsung, kontinyu dan bersamaan sehingga tingkat radioaktivitas partikulat, Iodine dan gas mulia dapat diketahui. Peralatan ini dilengkapi dengan 3 (tiga) buah detektor, masing masing detektor akan kontinyu mementau ketiga jenis radioaktivitas tersebut.

Prinsip kerja pengukuran radioaktivitas buangan udara dengan menggunakan peralatan PING 1 A, dilakukan dengan cara mengalirkan sebagian udara cerobong yang akan di buang ke lingkungan dengan menggunakan pompa hisap yang laju alir diketahui. Kemudian udara yang di alirkan akan di ukur oleh tiga buah detektor yang terdapat pada peralatan tersebut. Hasil penentuan konsentrasi radioaktif dapat diketahui, yang selanjutnya penentuan konsentrasi radioaktif udara hasil pengukuran dapat ditentukan sehingga tingkat konsentrasi radioaktif udara buangan dapat digunakan untuk mengendalikan udara buangan ke lingkungan yang dipersyaratkan oleh peraturan perundang-undangan^[2].

TEORI

Udara di dalam gedung reaktor G.A. Siwabessy selama pengoperasian reaktor telah menjalani proses penyegaran udara melalui sistem ventilasi akan di buang ke lingkungan. Tingkat kandungan radio-

aktivitas buangan merupakan persyaratan keselamatan lingkungan harus dipenuhi sesuai dengan peraturan perundang undangan. Untuk memenuhi agar sesuai dengan batas keselamatan lingkungan, di dalam kolam reaktor dilengkapi dengan pengendalian radiasi untuk meminimalkan tingkat kontaminasi udara di dalam gedung reaktor. Adapun sistem tersebut adalah sistem purifikasi, sistem lapisan air hangat dan sistem ventilasi.^[3,4]

Sekalipun udara yang di buang ke lingkungan telah diproses menggunakan berbagai sistem pengendalian yang disebutkan di atas, untuk memenuhi persyaratan lingkungan masih diperlukan peralatan untuk menentukan tingkat konsentrasi lepasan radioaktif ke lingkungan dengan menggunakan peralatan pemantauan radioaktif udara. Kandungan tingkat kontaminasi udara dinyatakan dalam konsentrasi radioaktif dengan satuan aktivitas per satuan volume udara yaitu besarnya aktivitas di dalam udara setiap satu meter kubik atau liter.

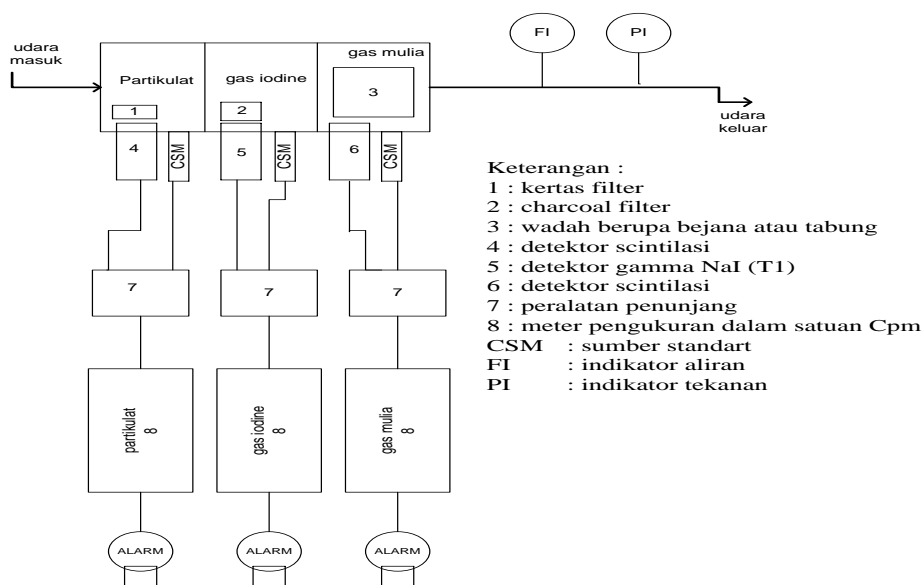
Peralatan Model PING-1A

PING-1A adalah sebuah peralatan untuk memantau kandungan udara radioaktif partikulat, Iodine, dan gas mulia, dengan cara pengambilan sebagian udara pada cerobong yang akan di buang ke lingkungan, dengan sebuah pompa hisap yang laju aliran udara diketahui dengan menggunakan sebuah flow meter dalam satuan liter per menit^[5]. Sebagian udara buangan di alirkan sedemikian rupa (sampel) dialirkan melalui pipa plastik ke dalam sistem pengukuran model PING-1A, yang didalamnya terdapat tiga alat pantau untuk mengukur tingkat aktivitas partikulat, Iodine dan gas mulia. Pengukuran partikulat dilakukan dengan memantau filter, dimana udara telah alirkan (filter sebagai penangkap partikulat). Partikulat yang tertangkap pada filter diukur aktivitasnya

menggunakan sebuah detektor Scintilasi jenis alpha ZnS(Ag) yang dipasang tepat di permukaan filter. Udara dari ruang pengukuran partikulat mengalir masuk ke dalam ruang pengukuran Iodine, yang dilengkapi sebuah filter arang aktif untuk menangkap Iodine. Iodine yang tertangkap dipantau menggunakan sebuah detektor gamma NaI (TI) yang dipasang tepat dipermukaan arang aktif. Kemudian, udara mengalir masuk ke dalam ruang bejana (*vessel*) untuk pengukuran gas mulia. Udara dalam bejana ini dipantau menggunakan sebuah detektor Scintilasi yang dipasang di dalam bejana. Udara yang telah diukur dialirkan kembali ke cerobong dan dibuang ke lingkungan.

Informasi pengukuran partikulat, Iodine dan gas mulia ditampilkan dalam indikator analog pengukuran dalam satuan cacah per menit (CPM) dan terekam kedalam *recorder*. Untuk memperoleh cacahan radioaktif udara, terlebih dahulu melakukan pengukuran cacahan latar (*background*), kemudian mengukur cacahan sampel. Dengan demikian untuk memperoleh cacahan radioaktif udara sesungguhnya hasil cacahan sampel dikurangi dengan cacahan latar. Nilai cacahan yang masih dalam bentuk laju cacah diubah ke aktivitas dengan memperhitungkan efisiensi deteksi (η). Laju alir udara dan tekanan digunakan untuk menghitung volume udara per satuan waktu. Langkah persiapan sebelum pengukuran aktivitas adalah melakukan kalibrasi efisiensi dan pengukuran cacahan latar (*background*).

Prinsip kerja pengukuran tingkat radioaktifitas udara buangan dengan cara melakukan pengambilan sebagian udara yang akan di buang dialirkan dengan menggunakan pompa hisap dengan laju alir yang diketahui (menggunakan flow meter, satuan liter per menit). Proses pengukuran aktivitas dengan alat model PING-1A, yang ditampilkan pada blok diagram (Gambar 1.)



Gambar 1. Diagram Blok Model PING-1A

Kandungan Radioaktivitas Udara

Kandungan radioaktivitas di udara merupakan kandungan radioaktivitas *air borne* yang terdiri dari kandungan radioaktif partikulat, Iodine dan gas mulia seperti debu radioaktif di alam yang keberadaanya menyatu dengan udara. Kandungan radioaktivitas di udara jika terhirup masuk ke dalam sistem pernafasan dan melebihi dari batasan baku mutu akan berdampak pada kesehatan dan disebut bahaya radiasi internal. Radiasi internal terjadi apabila tubuh manusia terkontaminasi dengan zat radioaktif, baik kontaminasi pada bagian tubuh dalam maupun permukaan tubuh. Mengingat partikulat udara berukuran mikroskopis maka udara disaring menggunakan filter HEPA (*High Efficiency Particulate Air*).

Kandungan radioaktivitas di udara di RSG-GAS di mungkinkan berasal dari reaksi fisi dan aktivasi. Aktivasi merupakan iradiasi neutron dengan bahan

yang digunakan untuk penelitian dan komponen-komponen reaktor lainnya. Nuklida-nuklida yang akan di hasilkan dari reaksi fisi dan aktivasi diantaranya ^{85}Kr , ^{137}Cs , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{59}Fe , ^{65}Zn , ^{95}Zr , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{144}Ce , ^{131}I

Kosentrasi Radioaktif Iodine di Udara

Iodine terbentuk dari reaksi fisi. Ada tiga komponen Iodine di udara yaitu partikulat, *Iodine elemental* (I_2), dan *methyl Iodine* (CH_3I). Dari hasil pengukuran ^{131}I di Pusat Produksi Radioisotop - Serpong, diketahui bahwa bentuk kimia-fisika Iodine di udara rata-rata 1% berbentuk Partikulat, 39% elemental dan 60% methyl Iodine^[6]. Pemantauan *methyl Iodine* (CH_3I) pada umumnya digunakan arang aktif, untuk Iodine elemental (I_2) digunakan kasa perak atau kasa tembaga, sedangkan untuk asam hypoidous (HOI) digunakan untuk filter *charcoal* (arang aktif) yang ditambah phenol^[7]. Kandungan Iodine di dalam air

mempunyai peluang lepas ke udara sebanyak 30%. Nuklida-nuklida Iodine yaitu ^{131}I sampai ^{135}I .

Iodine merupakan nuklida pengendali dan salah satu unsur radioaktif yang harus dipantau setiap saat terutama pada saat reaktor beroperasi, mengingat Iodine yang melebihi ambang batas akan berbahaya apabila terhirup oleh manusia karena dapat merusak organ tyroid (organ kritis). Baku mutu nuklida ini sering di gunakan sebagai tolok ukur pengendalian terhadap lingkungan, oleh karena penetapan tingkat baku mutu yang ketat (*konservatif*).

Apabila hasil pengukuran Iodine yang diperoleh belum melebihi ambang batas ditentukan maka dapat dinyatakan bahwa tidak menimbulkan pencemaran radioaktif yang berdampak pada lingkungan.

Kosentrasi radioaktif Gas Mulia

Gas mulia adalah gas yang mempunyai tidak reaktif, dan susah bereaksi dengan bahan kimia lain. Disebut mulia karena unsur-unsur ini sangat stabil (sangat sukar bereaksi). Gas mulia umumnya dihasilkan dari reaksi fisi dan aktivasi dengan bahan moderator. Gas-gas mulia hasil fisi berupa Helium (He), Neon (Ne), Argon (^{41}Ar), Krypton (^{85}Kr , $^{85\text{m}}\text{Kr}$, ^{87}Kr , ^{88}Kr), Xenon ($^{131\text{m}}\text{Xe}$, ^{133}Xe , $^{135\text{m}}\text{Xe}$, ^{135}Xe , ^{138}Xe), Radon (^{222}Rn).

Kalibrasi Efisiensi Pencacahan Gross

Suatu sumber radioaktif selalu memancarkan radiasi ke segala arah. Cuplikan sumber radioaktif diukur pada jarak tertentu terhadap detektor. Sebelum peralatan dipergunakan untuk pengukuran (pencacahan), peralatan ini perlu dikalibrasi untuk menentukan efisiensi deteksi. Efisiensi deteksi ditentukan dengan mencacah sumber standar yang telah diketahui aktivitasnya.

Aktivitas sumber standar dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$A_t = A_0 \times e^{\frac{-0,693t}{t_{1/2}}}$$

Sebagai contoh sebuah sumber standar Cs^{137} memiliki A_0 sebesar $1.11\text{E}+6$ Bq dan t selama 222 bulan serta $t_{1/2} = 360$ bulan. Apabila nilai ini dimasukkan ke persamaan (1) maka akan diperoleh hasil A_t sumber standar sebesar $7.20\text{E}+5$ Bq. Untuk keperluan kalibrasi efisiensi pada sitem PING-1A dipergunakan sumber standar berupa Cs^{137} dan Ba^{133} yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data sumber standar

No.	Sumber standar	Aktivitas (Bq)	Energi (keV)	Peruntukkan
1.	Cs^{137}	$1.11\text{E}+6$	661.65	Partikulat dan Gas Mulia
2.	Ba^{133}	18500	80.8	Iodine
			302.8	
			302.8	

Kalibrasi efisiensi diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif dan digunakan untuk menghitung aktivitas sumber radioaktif berdasarkan cacahan yang terukur detektor. Efisiensi adalah perbandingan antara hasil pengukuran berupa cacahan (dalam satuan cpm) dan aktivitas radionuklida (dalam satuan bequerel (Bq) atau seringkali disebut juga disintegrasi per sekon (dps)).

$$\eta = \frac{C_p \text{ (cps)}}{A_t \text{ (dps)}} \times 100 \% ,$$

Sebagai contoh, untuk hasil pengukuran rata-rata ^{137}Cs sebesar $2,69\text{E}+01$ cps dengan aktivitas $^{137}\text{Cs} = 7,20 \times 10^5$ dps dapat diperoleh η (efisiensi)

$$\eta = \frac{C_p \text{ (cps)}}{A_i \text{ (dps)}} \times 100 \%$$

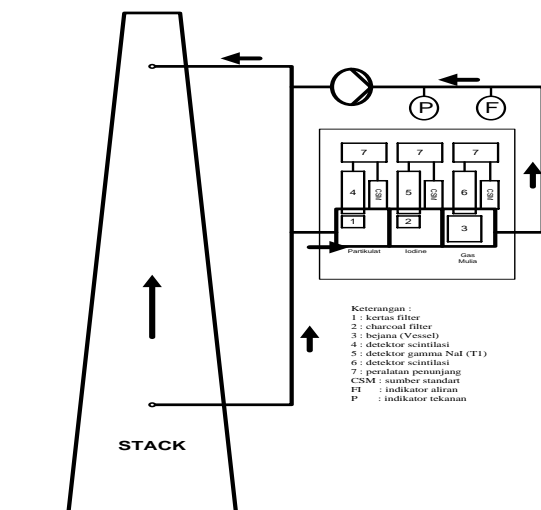
$$= \frac{2,69 \times 10^1}{7,20 \times 10^5} \times 100 \%$$

$$= 3,74 \times 10^{-3}.$$

Peralatan

Alat yang digunakan adalah Model PING-1A (*particulate, Iodine and noble gas monitor*), pipa penyalur udara masuk, dan pipa penyalur udara buang dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:

METODE PENGUKURAN



Gambar 2. Peralatan Model PING-1A

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Filter paper glass fiber* (kertas filter serat kaca), *Charcoal* (arang aktif), dan Sumber standar ¹³⁷Cs serta ¹³³Ba.

Cara Kerja

Pengukuran dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Pengukuran latar dilakukan dengan pengukuran cacahan tanpa ada sampel udara yang masuk dengan cara mematikan pompa hisap. Kondisi filter serat kaca dan filter *charcoal* pada kondisi yang baru.
2. Pengukuran partikulat, Iodine dan gas mulia dilakukan dengan metode

pencacahan mutlak yaitu pencacahan tanpa membedakan energi antara unsur yang satu dengan unsur yang lain dalam cuplikan, dalam satuan cpm. Aktivitas udara buangan melalui cerobong diukur dengan mengalirkan udara ke dalam alat model PING-1A. Hal ini dilakukan dengan menghidupkan pompa hisap.

3. Pengukuran udara buangan ke lingkungan dilakukan dengan kondisi:
 - a. pada saat reaktor tidak operasi;
 - b. pada saat reaktor beroperasi 15 MW dengan sistem lapisan air hangat;
 - c. pada saat reaktor beroperasi 15 MW tanpa sistem lapisan air hangat

Pengukuran Konsentrasi

Konsentrasi lepasan radioaktif udara cerobong dinyatakan dalam aktivitas per satuan volume udara. Data yang diperoleh dari hasil pengukuran masih dalam bentuk laju cacah (cpm) yang kemudian diubah ke aktivitas (Bq) dengan memperhitungkan efisiensi (η). Untuk mendapatkan hasil pengukuran konsentrasi lepasan radioaktif udara cerobong dalam aktivitas per satuan volume udara diperlukan beberapa langkah perhitungan sebagai berikut:

- a. Laju alir yang teramati dikonversi menjadi laju alir standar. Perhitungan laju alir standar dilakukan dengan menggunakan persamaan (3)

$$Q_{std} = Q_p \times \frac{P_{mutlak}}{29.92 \text{ inch.Hg}}, \quad (3)$$

dengan Q_{std} adalah laju alir udara standar (L/mnt atau m^3/mnt), Q_p merupakan laju alir udara pengamatan (L/mnt atau m^3/mnt) dan P_{mutlak} yaitu tekanan mutlak (In.Hg). Sebagai contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut flowmeter menunjukkan (Q_p) 75 L/min dan tekanan (P) = 6 In.Hg, sehingga P_{mutlak} = 19.19 In.Hg. Maka, laju alir standar yang diperoleh berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) adalah

$$\begin{aligned} Q_{std} &= Q_p \times \frac{P_{mutlak}}{29.92 \text{ inch.Hg}} \\ &= 75 \text{ l/min} \times \frac{19.19 \text{ inch.Hg}}{29.92 \text{ inch.Hg}} \\ &= 48 \text{ l/min} . \end{aligned}$$

- b. Aktivitas dihitung dari pengukuran cacahan dengan menggunakan persamaan (4)

$$A = \frac{c_p}{\eta} \text{ (Bq)}, \dots\dots\dots(4)$$

dengan, A adalah Aktivitas (Bq atau Ci), c_p merupakan Laju cacah

pengamatan (cpm) dan η merupakan efisiensi deteksi (%). Sebagai contoh perhitungan dapat dilihat sebagai berikut perhitungan aktivitas (A) berdasarkan laju cacah pengamatan (c_p) di *stack* reaktor sebesar $1,8 \times 10^3$ cps dan η (efisiensi) yang didapat dari kalibrasi $3,74 \times 10^{-3}$. Maka, aktivitas udara yang melewati filter adalah

$$\begin{aligned} A &= \frac{c_p}{\eta} \text{ (Bq)} \\ &= \frac{1.8 \times 10^3}{3.74 \times 10^{-3}} \\ &= 4.81 \times 10^5 \text{ Bq}. \end{aligned}$$

- c. Berdasarkan dua perhitungan sebelumnya, konsentrasi lepasan radioaktif udara dihitung menggunakan persamaan (5).

$$K = \frac{A}{Q_{std}} \text{ (Bq/l)}, \dots\dots\dots(5)$$

Untuk $A = 4.81 \times 10^5$ Bq dan $Q_{std} = 48$ l/min x (11x60x24 min) = 760320 l, konsentrasi (K) dapat diperoleh dengan persamaan (5):

$$\begin{aligned} K &= \frac{A}{Q_{std}} \text{ (Bq/l)} \\ &= \frac{4,81 \times 10^5 \text{ Bq}}{760320 \text{ l}} \\ &= 6,33 \times 10^{-1} \text{ Bq/l} \end{aligned}$$

Pengukuran dilakukan secara kontinyu dengan selang waktu antara 0 sampai 5880 menit. Analisis kualitatif plot kurva konsentrasi per satuan waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Efisiensi Terhadap Sumber Standar

Setiap pengukuran (pencacahan) sampel akan diawali dengan kalibrasi alat dengan melakukan pencacahan terhadap sumber standar yang sudah diketahui jenis

unsur, tenaga dan aktivitasnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi

Tabel 2. Data cacahan sumber standar

Sumber Standar	Hasil pengukuran rata-rata	
	(cpm)	(cps)
Cs-137 (Partikulat)	44,90	0,75
Ba-133 (Iodine)	86,00	1,43
Cs-137 (Gas Mulia)	44,90	0,75

Tabel 3. Data aktivitas dan hasil kalibrasi efisiensi sumber standar

Sumber Standar	Aktivitas Awal		Tgl kalibrasi	Aktivitas Akhir		Hasil pengukuran rata-rata (cps)	Efisiensi (Bq)
	(μ Ci)	(Bq)		(Ci)	(Bq)		
Cs-137 (Partikulat)	30	$1,11 \times 10^6$	Mei-09	$1,95 \times 10^{-5}$	$7,20 \times 10^{-5}$	$7,48 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-6}$
Ba-133 (Iodine)	0,5	$5,60 \times 10^3$	Mei-09	$4,30 \times 10^{-5}$	$5,60 \times 10^{-3}$	$1,43 \times 10^{+0}$	$2,56 \times 10^{-4}$
Cs-137 (Gas Mulia)	30	$1,11 \times 10^6$	Mei-09	$1,95 \times 10^{-5}$	$7,20 \times 10^{-5}$	$7,48 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-6}$

Pengukuran Latar

Pada pengukuran cacah latar terlebih dahulu dilakukan kalibrasi alat menggunakan sumber standar kemudian

deteksi (η) Data cacahan menggunakan sumber standar dapat dilihat pada Tabel 2.

Sumber standar yang digunakan diketahui terlebih dahulu aktivitas sumber baru kemudian melakukan kalibrasi efisiensi. Hasil kalibrasi efisiensi deteksi untuk seluruh sumber standar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

dilakukan pengukuran latar tanpa menghidupkan pompa hisap sehingga laju aliran dan tekanan udara belum terukur. Diperoleh hasil cacahan latar dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data cacahan latar

	Rata-rata Aktivitas (CPM)			Effisiensi Sumber Standar (DPS)		
	Partikulat	Iodine	Gas Mulia	Partikulat	Iodine	Gas Mulia
Jumlah Rata-rata	44,09	86,00	44,92	$1,04 \times 10^{-06}$	$2,56 \times 10^{-04}$	$1,04 \times 10^{-06}$
Standar Deviasi	3,62	7,07	7,56	$8,37 \times 10^{-08}$	$2,10 \times 10^{-05}$	$1,75 \times 10^{-07}$

PEMBAHASAN

Pengukuran Konsentrasi Radioaktif Udara Buangan

Setelah dilakukan kalibrasi dan pengukuran cacahan latar dilakukan pengukuran aktivitas untuk berbagai kondisi. Data-data pengukuran dari berbagai kondisi reaktor, yaitu pada saat reaktor tidak beroperasi, reaktor beroperasi pada daya 15 MW dengan WWL dioperasikan dan reaktor beroperasi WWL tidak operasikan. Konsentrasi untuk setiap lepasan radioaktif udara dihitung dengan menggunakan persamaan 3 sampai dengan

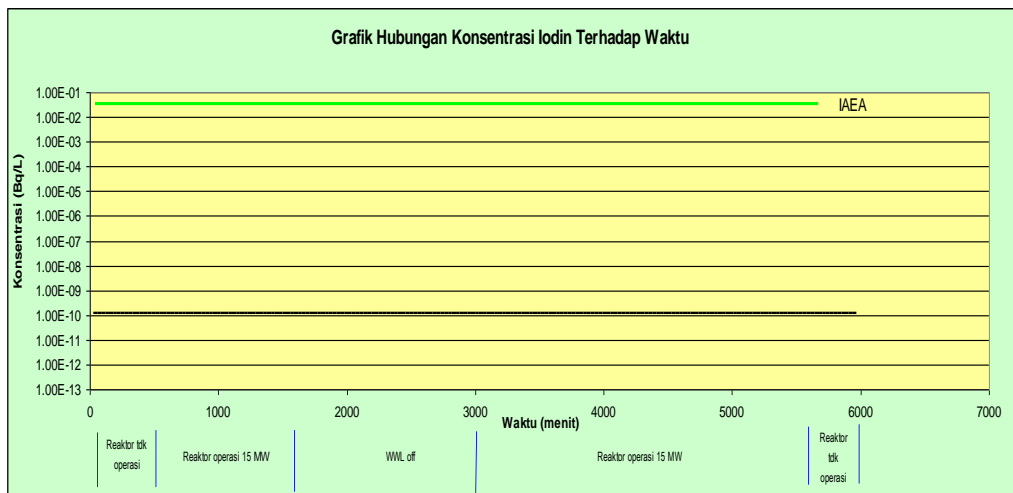
persamaan 5 dan dibuat grafik laju konsentrasi per satuan volume sebagai fungsi waktu untuk masing-masing kondisi.

Iodine merupakan nuklida pengendali dan salah satu unsur radioaktif yang harus dipantau setiap saat terutama pada saat reaktor beroperasi, mengingat Iodine jika melebihi ambang batas sangat berbahaya apabila terhirup oleh manusia. Unsur ini berpotensi merusak organ penting tubuh, sehingga hasil pengendalian terhadap lingkungan dilakukan secara ketat (*konservatif*). Apabila hasil pengukuran Iodine diperoleh belum melebihi ambang batas yang ditentukan maka dapat

dinyatakan bahwa RSG-GAS aman untuk beroperasi dan tidak menimbulkan pencemaran radioaktif yang berdampak pada lingkungan. Karena skala kepentingan yang lebih tinggi itu, pada bagian pembahasan ini konsentrasi Iodine akan dibahas terlebih dahulu.

Pengukuran Konsentrasi Iodine

Berikut ini adalah hasil pengukuran konsentrasi Iodine yang disajikan dalam bentuk grafik konsentrasi terhadap waktu pada masing-masing kondisi.



Gambar 4. Grafik konsentrasi Iodine terhadap waktu

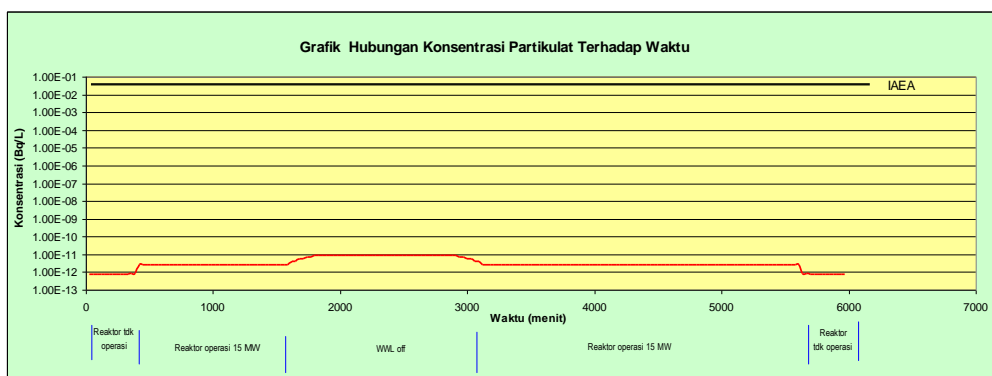
Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa besarnya konsentrasi Iodine yang terukur menggunakan model PING-1A besarnya relatif sama antara pengukuran *background* dengan pengukuran pada ketiga kondisi saat reaktor tidak operasi, reaktor operasi dengan WWL maupun reaktor operasi tanpa WWL yaitu rata-rata sebesar $1,24 \times 10^{-10}$ Bq/l. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam reaktor tidak terjadi pelepasan Iodine ke udara dari pruduk fisi (tidak terjadi gangguan dan beroperasi dengan normal). Dari hasil pengukuran di atas dapat diketahui bahwa:

a) Iodine yang terukur jika dibandingkan dengan batas keselamatan maka hasil pengukuran masih dibawah batas ketentuan peraturan perundang-undangan.

- b) Menunjukkan bahwa sistem ventilasi yang ada di RSG-GAS berfungsi dengan baik.
- c) Hasil pengukuran Iodine yang diperoleh cukup tinggi dibandingkan dengan pengukuran partikulat dan gas mulia hal ini menunjukkan nilai efisiensi hasil kalibrasi efisiensi sumber standar lebih tinggi 100 X dari efisiensi partikulat dan gas mulia.

Pengukuran Konsentrasi Partikulat

Berikut ini adalah hasil pengukuran konsentrasi partikulat berupa grafik konsentrasi terhadap waktu pada masing-masing kondisi.



Gambar 5. Grafik konsentrasi partikulat terhadap waktu

Dari Gambar 5, dapat dilihat hasil pengukuran konsentrasi partikulat yang terukur menggunakan model PING-1A dalam beberapa kondisi. Hasil pengukuran pada saat reaktor tidak beroperasi rata-rata Partikulat terukur $7,88 \times 10^{-13}$ Bq/l, pengukuran pada saat reaktor beroperasi konsentrasi partikulat mengalami kenaikan rata-rata menjadi $2,53 \times 10^{-12}$ Bq/l. Partikulat radioaktif terbentuk akibat reaksi fisi yang terjadi dalam teras reaktor. Dari grafik juga ditunjukkan kenaikan konsentrasi partikulat rata-rata menjadi $7,92 \times 10^{-12}$ Bq/l jika WWL tidak dioperasikan. Hal ini menunjukkan tingkat konsentrasi partikulat yang terlepas ke udara dipengaruhi oleh sistem permukaan air kolam yang dihangatkan yang berfungsi sebagai penahan radiasi. Pemakaian sistem pelapisan air hangat dalam operasi reaktor mengakibatkan konsentrasi partikulat turun dibanding tanpa pemakaian WWL.

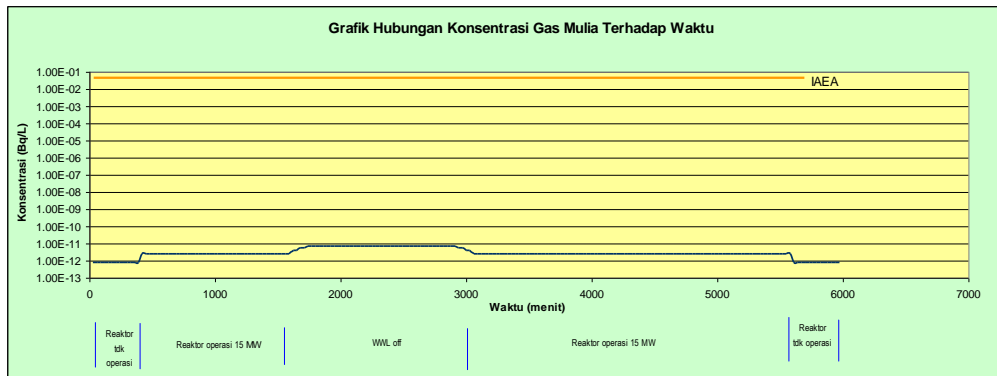
Beberapa saat setelah WWL tidak dioperasikan, lapisan air hangat kolam akan terganggu karena pasokan panas dari *heater* terhenti dan panas pada permukaan kolam diambil oleh udara dari sistem ventilasi kolam yang mempunyai suhu lebih rendah. Dalam waktu ± 1.5 jam lapisan air hangat akan hilang menyebabkan aktivitas radiasi pada dek

reaktor naik secara eksponensial kemudian stabil pada harga konsentrasi $8,86 \times 10^{-12}$ Bq/l. Setelah sistem lapisan air hangat diaktifkan atau dioperasikan, berangsur-angsur segera terbentuk kembali lapisan air hangat pada permukaan kolam dan menurunkan aktivitas radiasi pada dek reaktor. Kurang lebih 4 jam waktu yang diperlukan oleh sistem lapisan air hangat untuk membentuk kembali lapisan air hangat kolam.

Konsentrasi partikulat mengalami penurunan setelah reaktor padam (*shut down*). Hal ini terjadi karena tidak ada lagi reaksi fisi maupun aktivasi yang menghasilkan partikulat dan sebagai akibatnya lepasan partikulat dari air kolam reaktor ke udara makin lama makin kecil. Pada saat reaktor beroperasi sebaiknya WWL dioperasikan agar tingkat konsentrasi gas yang terlepas dari air kolam reaktor menjadi lebih rendah sehingga tidak akan menimbulkan dampak radiologi bagi pekerja radiasi, masyarakat maupun lingkungan.

Pengukuran Konsentrasi Gas Mulia

Berikut ini adalah hasil pengukuran konsentrasi gas mulia berupa grafik konsentrasi terhadap waktu pada masing-masing kondisi lihat Gambar 6.



Gambar 6. Grafik konsentrasi gas mulia terhadap waktu

Dari Gambar 6, dapat dilihat hasil pengukuran konsentrasi gas mulia. Pola Grafik tersebut mempunyai pola yang sama dengan grafik konsentrasi partikulat. Gas mulia yang terukur menggunakan model PING-1A dalam beberapa kondisi. Hasil pengukuran pada saat reaktor tidak beroperasi rata-rata gas mulia terukur $7,88 \times 10^{-13}$ Bq/l, pengukuran pada saat reaktor beroperasi konsentrasi gas mulia mengalami kenaikan rata-rata menjadi $2,53 \times 10^{-12}$ Bq/l. Gas mulia radioaktif terbentuk akibat reaksi fisi yang terjadi dalam teras reaktor. Dari grafik juga ditunjukkan kenaikan konsentrasi gas mulia rata-rata menjadi $7,92 \times 10^{-12}$ Bq/l jika WWL tidak dioperasikan. Hal ini menunjukkan tingkat konsentrasi gas mulia yang terlepas ke udara dipengaruhi oleh sistem permukaan air kolam yang dihangatkan yang berfungsi sebagai penahan radiasi. Pemakaian sistem pelapisan air hangat dalam operasi reaktor mengakibatkan konsentrasi gas mulia turun dibanding tanpa pemakaian WWL.

Beberapa saat setelah WWL tidak dioperasikan, lapisan air hangat kolam akan terganggu karena pasokan panas dari *heater* terhenti dan panas pada permukaan kolam diambil oleh udara dari sistem ventilasi kolam yang mempunyai suhu lebih rendah. Dalam waktu ± 1.5 jam

lapisan air hangat akan hilang menyebabkan aktivitas radiasi pada dek reaktor naik secara eksponensial kemudian stabil pada harga konsentrasi $8,86 \times 10^{-12}$ Bq/l. Setelah sistem lapisan air hangat diaktifkan atau dioperasikan, berangsur-angsur segera terbentuk kembali lapisan air hangat pada permukaan kolam dan menurunkan aktivitas radiasi pada dek reaktor. Kurang lebih 4 jam waktu yang diperlukan oleh sistem lapisan air hangat untuk membentuk kembali lapisan air hangat kolam. Konsentrasi gas mulia mengalami penurunan setelah reaktor padam (*shut down*). Hal ini terjadi karena tidak ada lagi reaksi fisi maupun aktivasi yang menghasilkan gas mulia dan sebagai akibatnya lepasan gas mulia dari air kolam reaktor ke udara makin lama makin kecil. Pada saat reaktor beroperasi sebaiknya WWL dioperasikan agar tingkat konsentrasi gas yang terlepas dari air kolam reaktor menjadi lebih rendah sehingga tidak akan menimbulkan dampak radiologi bagi pekerja radiasi, masyarakat maupun lingkungan.

KESIMPULAN

Pengukuran terhadap konsentrasi lepasan gas radioaktif melalui cerobong pada operasi normal reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) telah

dilakukan. Dari hasil pengukuran yang dilakukan diperoleh:

- hasil pengukuran rata-rata konsentrasi Iodine pada kondisi reaktor tidak beroperasi, kondisi reaktor beroperasi dengan WWL dan kondisi reaktor beroperasi tanpa WWL yaitu sebesar $1,24 \times 10^{-10}$ Bq/l;
- hasil pengukuran rata-rata konsentrasi partikulat pada:
 - a. kondisi reaktor tidak beroperasi sebesar $7,88 \times 10^{-13}$ Bq/l;
 - b. kondisi reaktor beroperasi dengan WWL sebesar $2,53 \times 10^{-12}$ Bq/l;
 - c. kondisi reaktor beroperasi tanpa WWL sebesar $7,92 \times 10^{-12}$ Bq/l;
- hasil pengukuran rata-rata konsentrasi gas mulia pada:
 - a. kondisi reaktor tidak beroperasi sebesar $7,88 \times 10^{-13}$ Bq/l;
 - b. kondisi reaktor beroperasi dengan WWL sebesar $2,44 \times 10^{-12}$ Bq/l;
 - c. kondisi reaktor beroperasi tanpa WWL sebesar $6,65 \times 10^{-12}$ Bq/l;

berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa pada saat reaktor beroperasi dengan WWL beroperasi maka konsentrasi radioaktif udara buang mempunyai konsentrasi radioaktif lebih kecil dibandingkan dengan reaktor beroperasi tanpa WWL (WWL tidak dioperasikan)

2. Hasil yang diperoleh tersebut jika dibandingkan dengan dokumen IAEA masih di bawah dari ambang batas yang ditentukan yaitu $7,00 \times 10^{-02}$ Bq/l. Hal ini menunjukkan bahwa cerobong udara RSG-GAS tidak melepaskan konsentrasi lepasan gas radioaktif yang berbahaya, sehingga dapat dinyatakan bahwa RSG-GAS aman untuk beroperasi dan tidak menimbulkan dampak pencemaran radioaktif pada masyarakat dan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. **PUSAT REAKTOR SERBA GUNA.** 2006. *Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Reaktor G. A. Siwabessy* Revisi 9 PRSG. Jakarta: BATAN.
2. **HEPPLE, E.** 1993. "Safety Equipment". Transfer Channel And ISFSF For BATAN. Alibasyah, Sentot. 2009. "Pemeliharaan Ventilasi Siwabessy 2009". Jakarta: PRSG-BATAN.
3. **WIRANTO, S, KUSNO.** 2008. "Karakterisasi Sistem Lapisan Air Hangat Kolam Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy". Jakarta: P2TRR-BATAN.
4. **ANONIM.** Turn Over Packet No. 40-C. 1987. MPR-30 RSG-BATAN. Jakarta: BATAN.
5. Specification Volume 8. B424 Harwell Laboratory Customer Service Department. 1990. "Technical Manual Model PING-1A". New Mexico: Eberline Instrument Corporation.
6. **BUNAWAS, DRS, MINARNI, IR.** 1996. "Pengukuran Bentuk Kimia-Fisika I-131 Di Udara Dengan Pencuplik Maypack Dan Spektrometri Gamma". Seminar ke-5 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir ke-IV Jakarta 10-11 Desember.
7. **YOSIDA, Y, Dkk.** 1984. "Development Airbone Radlodine Monitoring Technique in Jaeri". IRRR CONGRESS 6th Berlin May 7-12.