

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS ALPHA DI UDARA INSTALASI NUKLIR

Endang Sukei, Budi Prayitno dan Sulyanto
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS ALPHA DI UDARA INSTALASI NUKLIR. Pengolahan data pengukuran radioaktivitas alpha (α) di udara instalasi nuklir, telah dilakukan. Tujuan dari penulisan ini untuk mengetahui sumbangan dari ralat pengukuran radioaktivitas α di udara di instalasi nuklir secara tidak langsung. Contoh pengukuran radioaktivitas α dilakukan di Instalasi Radiometalurgi (IRM) ruang 143 dengan cara menghisap partikulat di udara melalui bantuan *air sampler* yang dilengkapi kertas filter. Pengambilan cuplikan udara dilakukan pada ketinggian ± 150 cm dari permukaan lantai. Tangkapan partikulat pada kertas filter di cacah aktivitasnya dengan alat cacah SAC-4 yang dilengkapi dengan detektor α . Data hasil cacahan diolah dan dihitung radioaktivitas α , sedangkan ketelitian pengukuran dihitung dengan memperhitungkan ralat pengukuran, yaitu hasil pencacahan, volume udara yang dihisap dan efisiensi detektor. Hasil pengukuran radioaktivitas α di udara ruang 143 IRM secara tidak langsung sebesar $\overline{Ak} = (0,0857 \pm 0,0407) \text{Bq/m}^3$ dengan ketelitian pengukuran sebesar 52,51 %. Ketelitian pengukuran tersebut berasal dari sumbangan ralat pencacahan sebesar 98,74 %, ralat volume udara yang dihisap sebesar 1,24 % dan ralat efisiensi detektor sebesar 0,02 %. Oleh karena itu pengukuran radioaktivitas α di udara instalasi nuklir sebaiknya dilakukan secara langsung, karena radioaktif berumur pendek akan ikut terdeteksi. Dapat disimpulkan bahwa pengukuran radioaktivitas di udara instalasi nuklir hanya dilakukan untuk tujuan pengukuran keselamatan.

Kata kunci : Pengolahan data, pengukuran, radioaktivitas α , udara, ralat pengukuran.

PENDAHULUAN

Berdasarkan undang-undang Republik Indonesia nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Pasal 16 ayat 1: Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Penjelasan lebih lanjut dari pasal ini ditetapkan dengan peraturan pemerintah dan peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir^[1]. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan tenaga nuklir yaitu keselamatan pekerja dan lingkungannya dari bahaya radiologi. Bahaya radiologi dapat dicegah sedini mungkin dengan cara selalu memonitor dengan baik zat radioaktif yang dipergunakan. Oleh karena itu suatu instalasi Nuklir diwajibkan untuk selalu melakukan pemantauan terhadap bahaya radiologi di instalasi tersebut. Pemantauan radiasi di suatu instalasi nuklir dilakukan dengan cara pengukuran besarnya radioaktivitas dan keberadaannya.

Pengukuran radioaktivitas di suatu tempat mempunyai tujuan tertentu dan pengolahan data dari hasil yang diukurpun disesuaikan dengan keperluannya. Tiga maksud dari pengukuran radioaktivitas adalah^[2] :

1. Pengukuran keselamatan, dimaksudkan untuk menunjukkan bahaya nyata langsung atau tidak langsung di lokasi tertentu. Secara umum keberadaan radionuklida di lokasi tersebut diharapkan diketahui dan bila melebihi batas tertentu harus dapat diambil tindakan yang sesuai.
2. Pengukuran kontrol, dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa batasan yang diizinkan tidak terlampaui. Nilai pengukuran mengacu pada luas dan bahaya jangka panjang. Hal ini untuk mengetahui efek jangka pendek dan lokal, yang menjadi dasar penilaian keselamatan, batas ini biasanya berisi faktor keselamatan yang sangat besar. Secara umum, pengukuran kontrol akan menunjukkan hanya konsentrasi maksimum yang diizinkan untuk nuklida kritis tertentu belum terlampaui. Jika melebihi konsentrasi maksimum yang diizinkan, penyelidikan yang lebih akurat diperlukan dalam rangka untuk menilai potensi bahaya.
3. Pengukuran statistik, dimaksudkan untuk mengukur konsentrasi radioaktif yang mungkin dapat menyebabkan bahaya radiasi bagi pekerja radiasi, terlepas dari apakah ketentuan hukum telah dilanggar atau tidak dilanggar.

Pengukuran radioaktif yang terdapat di udara Instalasi Nuklir bertujuan agar pekerja radiasi terhindar dari bahaya radiasi interna. Batasan radionuklida yang terdapat di udara mengacu kepada Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, BAPETEN nomor 01/Ka-BAPETEN/V-1999. Untuk Instalasi Nuklir yang berbahan baku uranium-235 dan uranium-238 batasan yang dipakai untuk kadar U-235 dan U-238 dalam harian sebesar 20 Bq/m³. Selanjutnya untuk Instalasi Nuklir yang dapat menimbulkan produk fisi dari hasil kegiatannya batasan yang dipakai adalah batasan radionuklida produk fisi tersebut dan dapat dilihat di Peraturan Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi. Jika ingin mengetahui radionuklidanya dilakukan analisis kualitatif dengan menggunakan *Multi Channel Analyzer (MCA)*. Pengukuran radioaktivitas di instalasi nuklir meliputi paparan radiasi, radioaktivitas (udara, permukaan serta udara buang), dan pemantauan limbah radioaktif. Dalam makalah ini yang dilakukan adalah cara pengukuran radioaktivitas α di udara dengan cara pengambilan cuplikan udara serta pengolahan data pengukuran radioaktivitas α tersebut. Tujuan dari penulisan ini untuk mengetahui sumbangan dari ralat pengukuran radioaktivitas α di udara di instalasi nuklir secara tidak langsung.

TEORI

Radioaktivitas udara adalah keberadaan zat radioaktif di udara, baik berupa debu, gas maupun partikel. Keberadaan zat radioaktif di udara tersebut memiliki potensi bahaya radiasi interna. Tingkat radioaktivitas udara adalah besarnya aktivitas zat radioaktif per satuan volume udara. Pada umumnya suatu Instalasi Nuklir bahan baku utamanya mengandung uranium-238 dan uranium-235. Bahan nuklir tersebut dalam penggunaannya dan pengolahannya sangat dimungkinkan dapat menimbulkan bahaya kontaminasi. Jika dalam penanganannya tidak sesuai dengan prosedur, cenderung akan menimbulkan kontaminasi dalam bentuk partikulat yang beterbangan di udara, atau dapat juga di dalam instalasi nuklir tersebut sistem ventilasi udaranya tidak baik, sehingga pertukaran udara di dalam laboratorium tidak berjalan sempurna.

Udara di laboratorium nuklir dapat diambil dengan alat cuplikan udara menggunakan *air sampler*. Ada *air sampler* yang sekaligus dilengkapi alat pencacahan dan ada juga yang terpisah dengan alat cacahnya. Kertas filter yang digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan untuk cuplikan udara dan biasanya terbuat dari bahan selulosa. Pengambilan udara yang terbaik adalah setinggi ± 150 cm dari permukaan lantai. Hal ini mengingat tinggi rata-rata orang Indonesia adalah 160 cm, dengan demikian keberadaan hidung (saat posisi berdiri) yang merupakan bagian dari pernapasan berada sekitar 150 cm dari permukaan lantai.

Contoh *air sampler* yang terpisah dengan alat cacahnya ditampilkan pada Gambar 1, sedangkan *air sampler* yang digabung dengan alat cacahnya untuk pemantauan radioaktivitas di udara kontinyu ditampilkan pada Gambar 3. Gambar 2 adalah merupakan alat cacah SAC-4 (*Single Analyzer Counter 4*) yang berfungsi untuk mencacah kertas filter hasil tangkapan udara. Kelebihan alat cacah pada Gambar 3 jika dibandingkan dengan alat cacah pada Gambar 2, yaitu alat cacah pada Gambar 3 sudah dilengkapi dengan *air sampler* dan mengukur radioaktivitas di udara secara langsung dan kontinyu.



Gambar 1. Alat pencuplik udara



Gambar 2. Alat cacah SAC-4



Gambar 3. Alat pantau kontaminasi udara kontinyu

Pilihan untuk pengukuran radioaktivitas di udara dilakukan berdasarkan keperluan hasil data yang akan digunakan atau dianalisis lebih lanjut. Pengukuran secara langsung tanpa penundaan akan menghasilkan hasil ukur radioaktif berumur paro pendek dan yang berumur paro panjang menjadi satu. Pengukuran secara tidak langsung dengan penundaan waktu pencacahan, yang terpantau adalah radioaktif yang berumur paro panjang saja. Mengingat kandungan radioisotop uranium menunjukkan bahwa diperut bumi, mengandung 99,28% U-238, 0,71% U-235 dan 0,0058% U-234^[3], maka hasil peluruhan radioaktif α yang berada di udara sangat dipengaruhi oleh turunan dari deret uranium-238, yaitu radon-222 yang berbentuk gas.

Di dalam gedung apabila sistem sirkulasi udara tidak baik, akan terjadi penumpukan gas radon-222. Induk dari radon-222 adalah uranium-238, maka suatu Instalasi Nuklir perlu dipantau udaranya. Radon-222 adalah satu-satunya radioaktif alam yang mampu mendiffusi dari tempat terjadinya kepermukaan bumi dan berbentuk

gas. Radon-222 sebagai gas mulia hampir tidak mengalami reaksi kimia, namun dapat larut dalam air tanah, terperangkap di dalam bahan-bahan mineral dan terlepas bebas menuju ke atas permukaan. Di alam dikenal tiga macam isotop radon yakni radon-219 biasa disebut aktinon berasal dari deret peluruhan uranium-235, radon-220 disebut Toron berasal dari deret peluruhan torium-232, radon-222 disebut radon berasal dari peluruhan uranium-238. Radon-222 sering pula disebut *radium emanation*, mempunyai umur paro cukup panjang yaitu 3,842 hari. Radon-222 hasil peluruhan pertama radium-226 yang lepas ke atas permukaan bumi menjadi bagian daripada atmosfer. Radon-222 ini meluruh menjadi radium-A, radium-B dan seterusnya berakhir pada radium-G. Untuk pencacahan zarah α yang timbul dari peluruhan radon-222 baru dilakukan kira-kira 3,5 jam setelah pencuplikan. Hal ini disebabkan laju pancaran zarah α akan terus naik akibat timbulnya polonium-218 dan polonium-214 dari peluruhan gas radon-222. Gas radon-222 merosot perlahan sekali mengikuti peluruhan radon-222 yang umur paronya 3,824 hari. Pencapaian laju cacah gas radon-222 akan maksimum kira-kira 3,5 jam setelah pencuplikan. Tinjau persamaan peluruhan berantai suatu inti radioaktif^[3,4] :

$$\frac{dN_1}{dt} = -\lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 + \lambda_1 N_1$$

$$\frac{dN_3}{dt} = -\lambda_3 N_3 + \lambda_2 N_2 \text{ dan seterusnya secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :}$$

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1} \text{ dengani = 1, 2, 3, dst(1)}$$

Ruas kiri persamaan (1) adalah banyaknya inti ke i yang meluruh setiap satuan waktu. Adapun suku pertama ruas kanan adalah aktivitas inti ke i yang meluruh menjadi inti ke i + 1, sedangkan suku ke-dua ruas kanan adalah banyaknya inti ke i - 1 meluruh menjadi inti ke i setiap satuan waktu. Penyelesaian persamaan (1) dapat dituliskan sebagai :

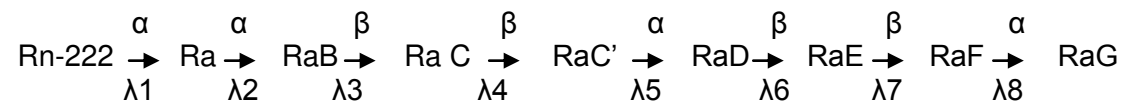
$$N_i(t) = - \sum_{j=1}^{j=i} M_{i,j} e^{-\lambda_j t} \text{(2)}$$

dengan :

$$M_{ij} = \frac{\lambda_{i-1}}{\lambda_i - \lambda_j} M_{i-1,j} \text{ dengan } i > j$$

$$M_{ii} = -N_i(0) - \sum_{j=1}^{i-1} M_{ij} \text{ dengan } N_i(0) = 0, \quad i > 1$$

Adapun radioisotop yang memancarkan zarah α disamping Rn-222 adalah Radium-A (Po-218), Radium-C' (Po-214) dan Radium-F (Po-210), peluruhan berantai tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :



.....(3)

Po-214 terjadi dari Bi-214 akan segera meluruh (umur paro pendek = 164×10^{-6} detik), sehingga banyaknya atom Po-214 dapat dikatakan selalu sama dengan banyaknya atom Bi-214 yang meluruh. Lebih lanjut karena banyaknya umur paro Pb-210 (22 tahun), peluruhan berurutan dari Radon-222 dapat dianggap berakhir pada Pb-210, dengan demikian penyelesaian persamaan (2) cukup sampai dengan index 5 (λ_5) saja, sedangkan pancaran zarah α diberikan oleh :

$$A_\alpha = \lambda_1 N_1(t) + \lambda_2 N_2(t) + \lambda_5 N_5(t), \text{ sehingga}$$

$$A_\alpha \approx \lambda_1 N_1(t) + \lambda_2 N_2(t) + \lambda_4 N_4(t) \dots \dots \dots (4)$$

Mengingat persamaan (2) dan konstanta peluruhan radioaktif $\lambda = \text{Ln } 2 / t_{1/2}$ dengan menggunakan Tabel 1 akan menghasilkan :

$$\frac{A_\alpha}{\lambda_1 N_1(0)} = 3,009612 e^{-0,000126t} - 1,024092 e^{-0,227261t} - 4,28022 e^{-0,025864t} + 3,294704 e^{-0,035185t}$$

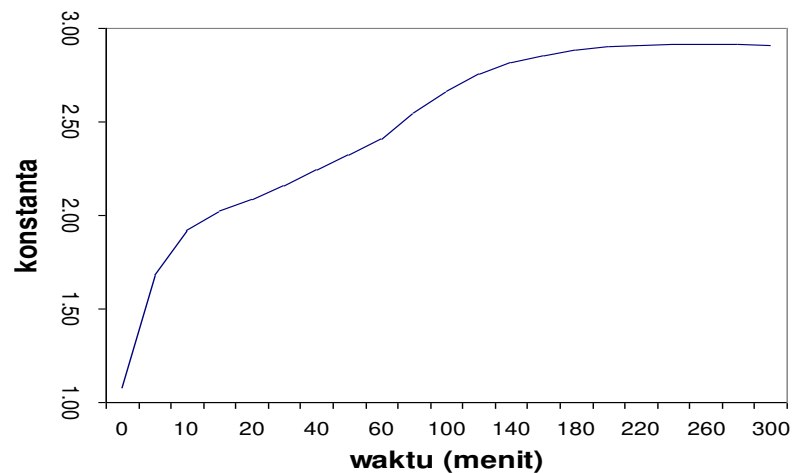
.....(5)

Jika dibuat grafik $A_\alpha/\lambda_1 N_1(0)$ pada persamaan (4) sebagai fungsi waktu akan diperoleh Gambar 4, dengan konstanta = $A_\alpha/\lambda_1 N_1(0)$. Pada Gambar 4 terlihat bahwa laju cacahnya maksimum pada saat $t = 260$ menit. Grafik tersebut mula-mula menanjak

dengan cepat lalu makin landai dan kemudian setelah mencapai maksimum, boleh dikatakan hampir tetap karena menurunnya amat landai.

Tabel 1. Umur paro radioisotop deret U-238 [3].

Simbol	Umur Paro ($t_{1/2}$)	Zarah yang dipancarkan (% dari induknya)
U^{238}	$4,5 \times 10^9$ tahun	α
Th^{234}	24,1 hari	β
Pa^{234}	1,17 menit	β
Pa^{234}	7 jam	β
U^{234}	$2,5 \times 10^5$ tahun	α
Th^{230}	8×10^4 tahun	α
Ra^{226}	$1,6 \times 10^3$ tahun	α
Rn^{222}	3,824 hari	α
Po^{218}	3,05 menit	α
Pb^{214}	26,8 menit	β
Bi^{214}	19,7 menit	α, β
Po^{214}	164 μ detik	α (99,96%)
Tl^{210}	1,3 menit	β (0,04%)
Pb^{210}	22 tahun	β
Bi^{210}	5 hari	β
Po^{210}	138,3 hari	α
Pb^{206}	stabil	



Gambar 4. Laju kenaikan radioaktivitas $A\alpha/\lambda_1 N_1(0)$ terhadap fungsi waktu.

Hasil dari suatu pengukuran radioaktif di udara tersebut lebih lanjut harus dihitung besarnya radioaktivitas α yang berada di udara. Untuk keperluan suatu pengukuran terdapat sumbangan masing masing ralat. Sumbangan ralat suatu pengukuran dapat berasal dari ^[5,6,7] :

1. Kesalahan Sistematis (*systematic errors*)

Kesalahan Sistematis adalah ketidak-akuratan hasil pengukuran akibat alat, kalibrasi atau teknik ukur yang salah. Misalnya:

a. Kesalahan alat :

- Kesalahan nol (*zero error*) akibat tidak berimpitnya titik nol skala dengan titik nol jarum penunjuk.
- Kelelahan (*fatigue*) alat karena misalnya pegas yang dipakai telah lembek.
- Gesekan antar bagian yang bergerak.

Kesalahan ini bisa dihindari bila alat ukur diganti dengan yang lebih baik jika memungkinkan.

b. Kesalahan kalibrasi : yaitu ketidak-tepatan pemberian skala pertama kali alat dibuat. Bisa dihindari dengan membandingkan alat tersebut dengan alat standar.

c. Kesalahan pribadi pengamat :

- Kesalahan *parallax* yaitu kesalahan akibat posisi mata saat pembacaan skala tidak tepat tegak lurus di atas jarum.
- Kesalahan interpolasi yaitu salah membaca kedudukan jarum diantara dua garis skala terdekat.
- Penguasaan prosedur dan ketangkasan penggunaan alat. Beberapa peralatan membutuhkan prosedur yang rumit, misalnya osiloskop, yang membutuhkan keterampilan pemakaian yang cukup.
- Sikap pengamat, misalnya kelelahan maupun keseriusan pengamat.

Sumber kesalahan ini dapat dihindari dengan sikap pengamatan yang baik, memahami sumber kesalahan dan berlatih sesering mungkin.

d. Pemakaian alat pada kondisi berbeda dengan saat dikalibrasi, yaitu pada kondisi suhu, tekanan atau kelembaban yang berbeda. Itulah sebabnya perlu dicatat nilai variabel atau kondisi lingkungan saat eksperimen dilakukan, misalnya suhu dan tekanan udara di laboratorium.

2. Kesalahan Rancangan (*random errors*)

Walupun kesalahan sistematis sudah berusaha dihindari, namun masih ada sumber kesalahan lain berasal dari luar sistem dan tak dapat dikuasai sepenuhnya:

- a. Gerak brown molekul udara yang dapat mempengaruhi penunjukan alat-alat halus seperti galvanometer.
- b. Fluktuasi tegangan listrik yang tak teratur yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran dengan alat-alat ukur listrik.
- c. Landasan (meja, lantai atau dudukan lain) alat yang bergetar akibat lalu lintas atau sumber lain.
- d. *Noise* atau bising pada rangkaian elektronika.
- e. Latar belakang radiasi kosmos pada pengukuran dengan pencacah radioaktif.

Dalam pengolahan data pengukuran radioaktivitas α di udara ini menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_k = N \times \frac{1}{V} \times \frac{1}{E} \dots\dots\dots(6)$$

dengan :

A_k = aktivitas kontaminasi radioaktif α , Bq/m³

N = cacah netto cuplikan, Cps

V = volume udara yang dihisap, m³

E = efisiensi alat cacah, %

$$A_k = \overline{A_k} \pm S_{A_k} \dots\dots\dots(7)$$

$$\overline{A_k} = \overline{N} \times \frac{1}{V} \times \frac{1}{E} \dots\dots\dots(8)$$

Adapun penurunan ralat perambatan sebagai berikut ^[6,7] :

$$S_{A_k} = \sqrt{\left(\frac{\partial A_k}{\partial N}\right)^2 (S_n)^2 + \left(\frac{\partial A_k}{\partial V}\right)^2 (S_v)^2 + \left(\frac{\partial A_k}{\partial E}\right)^2 (S_e)^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{V} \times \frac{1}{E}\right)^2 (S_n)^2 + \left(-N \times \frac{1}{V^2} \times \frac{1}{E}\right)^2 (S_v)^2 + \left(-N \times \frac{1}{V} \times \frac{1}{E^2}\right)^2 (S_e)^2} \dots\dots\dots(10)$$

Catatan : N, V, E pada Persamaan (5) adalah harga rerata.

dengan :

S_n = ralat statistik dari pencacahan (ralat cacah), dalam satuan cacah/detik.

S_v = deviasi standar dari volume udara yang dihisap (ralat volume), dalam satuan m^3

S_e = deviasi standar dari efisiensi detektor (ralat efisiensi), dalam satuan %.

SA_k = ralat radioaktivitas α di udara, dalam satuan Bq/m^3 .

Pengambilan ralat cacah (N) dalam hal ini tidak diambil dari \sqrt{N} , hal ini disebabkan cacahan radiasi udara harganya sangat kecil, dengan demikian pengambilan ralat dalam contoh ini menggunakan ralat deviasi standar rerata hasilnya lebih signifikan.

Untuk menghitung deviasi standar rerata menggunakan persamaan :

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots (11)$$

n = jumlah pengukuran

Untuk ketelitian pengukuran dihitung dengan persamaan :

$$\text{Ketelitian ukur} = 100 \% - \left(\frac{\text{ralat ukur}}{\text{hasil ukur}} \times 100 \% \right) \dots\dots\dots (12)$$

METODOLOGI

Di Instalasi Nuklir umumnya pengukuran awal dilakukan secara gross α , dengan pertimbangan radiasi α ini penyebab bahaya radiasi interna. Hasil pengambilan cuplikan partikulat yang tertangkap oleh kertas filter di udara, dapat langsung dicacah radioaktivitasnya atau ditunda pencacahannya. Pencacahan langsung akan lebih baik, karena radioaktivitas berumur pendek yang ditangkap oleh kertas filter belum sempat meluruh. Kerugiannya hasil cacahan akan relatif lebih besar, sementara umumnya radioaktivitas yang berumur pendek ini relatif tidak berdampak kepada bahaya radiasi interna. Pelaksanaan pencacahan dari sampling udara yang diambil, langsung dilakukan pencacahan (tanpa penundaan). Namun demikian hasilnya akan lebih sempurna jika pencacahan dilakukan tanpa penundaan dan pencacahan diulangi lagi

setelah ditunda, mengingat laju pertumbuhan radon-222 yang berasal dari radium-226 setimbang setelah 3,5 jam partikulat ditangkap dengan kertas filter ^[3,4].

Langkah Kerja

1. Persiapan

Disiapkan lembar pengambilan cuplikan partikulat di udara meliputi tanggal, bulan, tahun, hari pengambilan cuplikan udara dan titik pengambilan cuplikan. Setelah itu diperiksa dan disiapkan alat cacah yang akan dipergunakan meliputi masa kalibrasi, sumber listrik, kestabilan alat dan tegangan kerja detektor berdasarkan ketentuan $2/3$ dari *curve plateau*. Kertas filter yang akan dipergunakan dicacah selama 5 menit dengan bantuan detektor α yang tersedia untuk mengetahui cacah latar. Kemudian diperiksa alat *air sampler* meliputi *flow meter* alat dan kertas filter yang akan dipergunakan.

2. Pengambilan cuplikan udara

Kertas filter yang telah diketahui cacah latarnya dipasang pada alat *air sampler* dan diletakkan di titik lokasi pengambilan setinggi ± 150 cm dari lantai. Dilakukan pemeriksaan sumber tegangan listrik dan dihidupkan sumber tegangan listrik. Dicatat jam pada saat alat *air sampler* dihidupkan dan dioperasikan selama 15 menit. Dicatat pengukuran skala *flow meter* pada saat 1 menit, 5 menit, 10 menit, dan menjelang 15 menit. Sumber tegangan listrik dimatikan pada saat akhir pengambilan cuplikan (15 menit). Selanjutnya dikeluarkan dan diambil kertas filter dari alat *air sampler*. Kertas filter dimasukkan kedalam cawan patri yang sudah disediakan. Kertas filter tersebut dibawa ke alat cacah untuk pengukuran radioaktivitas.

3. Pencacahan Dan Pengukuran Radioaktivitas α ^[8].

Kertas filter tersebut dicacah dengan alat cacah yang tersedia (tanpa penundaan) selama 5 menit, minimal sebanyak tiga kali pencacahan. Hasil cacahan tersebut dirata-rata dan dikurangi dengan cacah latar. Besarnya radioaktivitas α di udara dihitung dengan menggunakan persamaan (6) ^[4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengolahan Data Pengukuran Radioaktivitas di Udara

Data hasil pengukuran radioaktivitas di udara diolah dengan cara mencari dari ralat statistik, dari pencacahan, deviasi standar dari volume udara yang dihisap dan

deviasi standar dari efisiensi detektor. Hasil pengukuran dan pengolahan data keberadaan radioaktivitas α di udara berikut ralat deviasi standar di tabelkan pada Tabel 2. Pengukuran radioaktivitas α di udara ini dilakukan di laboratorium Radiometalurgi yaitu di ruang 143 yang berfungsi sebagai daerah *Service area*.

Tabel 2. Hasil pengukuran radioaktivitas α di udara dan ralat deviasi standar.

Lokasi	Cacah netto (cps)	Ralat cacah (cps)	Efisiensi detektor (%)	Ralat Ef. detektor (%)	Volume udara (m ³)	Ralat Vol. udara (m ³)
R.143	0,180	0,112	6,69	-0,006	0,465	0,045
	0,190	0,102	6,59	0,094	0,512	-0,002
	0,170	0,122	6,70	-0,016	0,510	0,000
	0,410	-0,118	6,75	-0,066	0,560	-0,050
	0,230	0,062	6,71	-0,026	0,510	0,000
	0,330	-0,038	6,71	-0,026	0,544	-0,034
	0,110	0,182	6,63	0,054	0,465	0,045
	0,310	-0,018	6,65	0,034	0,561	-0,051
	0,180	0,112	6,71	-0,026	0,465	0,045
	0,810	-0,518	6,70	-0,016	0,512	-0,002
	$\Sigma = 2,920$	$ \Sigma =1,384$	$\Sigma = 66,84$	$ \Sigma =0,364$	$\Sigma = 5,104$	$ \Sigma = 0,274$
$\bar{N} = 0,292$	$S_n = 0,138$	$\bar{E} = 6,684$	$S_e = 0,035$	$\bar{V} = 0,510$	$S_v = 0,027$	

Dari data pada Tabel 2, dapat dihitung besarnya aktivitas kontaminasi radioaktif α yaitu dengan menggunakan persamaan (8) dan (10). Hasil perhitungannya adalah sebagai berikut : $\bar{A}_k = (0,0857 \pm 0,0407) \text{Bq/m}^3$, sedangkan ketelitian pengukuran dihitung dengan persamaan (12) dan didapat sebesar 52,51 %. (Contoh perhitungan: $100 \% - (0,0407/0,0857 \times 100\%) = 100 \% - 47,49 \% = 52,51 \%$).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengukuran radioaktivitas yang terdapat di udara ialah : Kalibrasi dari detektor, tegangan kerja detektor (*plateu curve*), efisiensi detektor, kalibrasi *air sampler*, lama pengambilan cuplikan udara (Di dalam Instalasi Nuklir biasanya 15 menit), jumlah pengambilan cuplikan minimal 3 kali, saat pencacahan cuplikan (langsung atau dengan penundaan pencacahan). Hasil dari pengukuran radioaktivitas α di udara IRM adalah: $A_k = (0,0857 \pm 0,0407) \text{Bq/m}^3$ dengan ketelitian pengukuran sebesar 52,51 %. Pengukuran radioaktivitas α di Instalasi Nuklir cenderung menghasilkan ralat ukur yang besar atau ketelitian yang rendah, hal ini disebabkan umumnya radioaktivitas di udara hasil cacahannya kecil mendekati cacah latar, dengan demikian ralat cacahannya menjadi besar. Ketelitian pengukuran berasal dari sumbangan ralat sebagai berikut :

$$S_{Ak} = \sqrt{\left(\frac{\partial Ak}{\partial N}\right)^2 (S_n)^2 + \left(\frac{\partial Ak}{\partial V}\right)^2 (S_v)^2 + \left(\frac{\partial Ak}{\partial E}\right)^2 (S_e)^2}$$

$$S_{Ak} = \sqrt{\text{ralat cacah} + \text{ralat volume} + \text{ralat efisiensi}}$$

$$S_{Ak} = \sqrt{0,001638872 + 0,000020565 + 0,0000002011}$$

$$S_{Ak} = \sqrt{0,001659638}$$

Sumbangan ralat cacah = $(0,001638872/0,001659638) \times 100\% = 98,74 \%$.

Sumbangan ralat volume = $(0,000020565/0,001659638) \times 100\% = 1,24 \%$.

Sumbangan ralat efisiensi = $(0,0000002011/0,001659638) \times 100\% = 0,02 \%$.

Dalam perhitungan ini menunjukkan bahwa ketelitian pengukuran berasal dari sumbangan ralat pencacahan sebesar 98,74 %, ralat volume udara yang dihisap sebesar 1,24 % dan ralat efisiensi detektor sebesar 0,02 %. Sumbangan ralat pencacahan ini menjadi dominan disebabkan cacah radioaktivitasnya mendekati cacah latar, dengan demikian cacah nettoanya mendekati satu. Jika dihubungkan dengan batasan kontaminasi radioaktif α sebesar 20 Bq/m³ di udara, nilai $(0,0857 \pm 0,0407)$ Bq/m³ ini jauh di bawah batas yang diizinkan.

Pencacahan sampel radioaktif α di udara laboratorium nuklir dilakukan langsung setelah pengambilan sampel. Batasan yang dipakai ialah untuk kadar U-235 dan U-238 dalam harian sebesar 20 Bq/m³. Penggunaan batasan ini jika Instalasi Nuklir tersebut dalam kegiatan utamanya menggunakan bahan baku U-235 dan U-238. Penundaan pencacahan umumnya dilakukan untuk meluruhkan radioaktif yang berumur paro pendek. Mengingat di Instalasi Nuklir perlu dipantau juga radioaktif yang berumur paro pendek, maka setelah pengambilan sampel langsung dilakukan pencacahan. Jika hasil cacahan ternyata melebihi batasan yang direkomendasikan, perlu diidentifikasi radionuklidanya secara kualitatif dengan MCA. Setelah diketahui penyebabnya berasal dari radionuklida misalnya Pb-212, maka dilihat batasan yang diperbolehkan untuk radionuklida Pb-212 tersebut.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran radioaktivitas α di udara ruang 143 IRM secara tidak langsung sebesar $\overline{Ak} = (0,0857 \pm 0,0407) \text{Bq/m}^3$ dengan ketelitian pengukuran sebesar 52,51 %. Ketelitian pengukuran tersebut berasal dari sumbangan ralat pencacahan sebesar 98,74 %, ralat volume udara yang dihisap sebesar 1,24 % dan ralat efisiensi detektor sebesar 0,02 %. Oleh karena itu pengukuran radioaktivitas α di

udara instalasi nuklir sebaiknya dilakukan secara langsung, karena radioaktif berumur pendek akan ikut terdeteksi. Dapat disimpulkan bahwa pengukuran radioaktivitas di udara instalasi nuklir hanya dilakukan untuk tujuan pengukuran keselamatan.

DAFTAR PUSTAKA

1. BAPETEN, "Undang-undang no. 10 tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran", Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, Tahun1997.
2. DR. HANS KIEFER AND DR. RUPPRECHT MAUSHART WITH THE CO-OPERATION OF R. EHRET, H. FESSLER, E. PIESCH, AND G. STÄBLEIN. HANS KIEFER AND Dr. RUPPRECHT MAUSHART, "Radiation Protection Measurement", Pergamon Press Ltd. , New York, Page 214 and 215, 1972.
3. SOEDOYO, PETER, "Mekanisme Transport Dan Distribusi Gas Radon Alam", Disertasi, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, Tahun 1983.
4. GERHART FRIEDLANDER, JOSEPH W. KENNEDY, EDWARD S. MACIAS JULIAN MALCOLM MILLER, "Nuclear and Radiochemistry", 3rd Edition, John Wiley & sons, Inc., Canada, 1981.
5. Situs internet : <http://hyghostblue.blogspot.com/2009/04/teori-ralat.html>.
6. E. ZIJP, "Analisa Pengukuran Fisika", Fakultas Ilmu Pasti dan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Tahun 1974.
7. GANW.KUZMA AND STEPHENE, "Basic Statistics For Health Science", 4rd Edition, 2001.
8. ALAN MARTIN AND SAMUEL A. HABIRSON, "An introduction to radiation protection", copy right 1986, London, 1986.