

## PEMANTAUAN KEBERSIHAN UDARA PADA DAERAH PENGOPERASIAN INSTALASI SEL PANAS RADIOMETALURGI

Suliyanto dan Muradi

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN.  
Kawasan PUSPIPTEK Gedung 20, Serpong - Tangerang Selatan.  
E-mail: sulisulaiman@yahoo.co.id

### ABSTRAK

**PEMANTAUAN KEBERSIHAN UDARA PADA DAERAH PENGOPERASIAN INSTALASI SEL PANAS RADIOMETALURGI.** Pemantauan kebersihan udara pada daerah pengoperasian Instalasi Sel Panas Radiometalurgi (IRM), telah dilakukan. Tujuan pemantauan adalah menentukan tingkat kebersihan udara dan tingkat radioaktivitas  $\alpha$  di udara daerah pengoperasian sel panas IRM. Metoda pemantauan yang digunakan adalah menghitung jumlah partikel debu berukuran 5 dan 1 mikron, serta pemantauan tingkat radioaktivitas- $\alpha$  secara tidak langsung menggunakan pencuplik udara. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa jumlah partikel debu yang berdiameter 5 dan 1 mikron berturut turut adalah  $27 \pm 2,6$  dan  $815 \pm 6,50$  partikel/m<sup>3</sup> udara, serta tingkat radioaktivitas- $\alpha$  di udara tanpa penundaan pencacahan sebesar 17,58 Bq/m<sup>3</sup> udara. Kesimpulannya adalah tingkat kebersihan udara pada daerah pengoperasian sel panas IRM adalah kelas 5 (menurut ISO 14644-1) atau kelas 100 (menurut FS209E). Dari sudut pandang keselamatan radiasi tingkat radioaktivitas- $\alpha$  di udara (tanpa penundaan pencacahan) lebih rendah dari batasan yang diizinkan yaitu di bawah 20 Bq/m<sup>3</sup> udara.

Kata kunci : debu, jumlah partikel debu, radioaktivitas  $\alpha$

### ABSTRACT

**MONITORING OF AIR CLEANLINESS IN OPERATING AREA OF RADIOMETALURGY HOTCELL INSTALLATION.** Monitoring of air cleanliness in operating area of radiometalurgy hotcell installation (IRM) was carried out. The purpose of monitoring is to determine the level of air cleanliness and levels of  $\alpha$ -radioactivity in the air of operating area hotcell of IRM. The monitoring method is to count the number of dust particles diameter of 5 micron and 1 micron, and monitoring the level of  $\alpha$ -radioactivity-indirectly using air sampler. Monitoring result showed that the number of dust particles diameter of 5 and 1 micron were  $27 \pm 2.60$  and  $815 \pm 6.50$  particles/m<sup>3</sup> in air respectively, and the level of radioactivity- $\alpha$  in the air without delayed counting was 17.58 Bq/m<sup>3</sup> air. It is concluded that the level of air cleanliness in operating area hotcell of IRM is class 5 (according to ISO 14644-1) or class 100 (according to FS209E). Based on view point of radiation safety, the level of  $\alpha$ -radioactivity- in the air (without delayed counting) obtained not exceeding the allowed limit i.e below 20 Bq/m<sup>3</sup> particles in air.

Key words: dust, the number of dust particles,  $\alpha$  radioactivity

### PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (IRM-PTBN) memiliki 12 bilik panas yang terdiri dari 3 bilik beton dan 9 bilik baja serta laboratorium analisis pendukung lainnya. Dengan Adanya fasilitas ini, IRM-PTBN dapat melakukan uji pasca irradiasi elemen bakar bekas, serta bahan

struktur untuk pendukung pembuatan elemen bakar nuklir. Semua udara yang keluar dari laboratorium IRM maupun sel panas IRM dikumpulkan pada satu saluran udara buang (*exhaust air room*) dan dilepas ke lingkungan melalui cerobong setinggi 60 meter. Untuk daerah hijau (zone II) termasuk daerah pengoperasian sel panas (R-140), pergantian udara

didesain 5 - 10 kali/jam. Sistem ventilasi yang baik dapat menjamin aliran udara mengalir dari daerah yang lebih bersih menuju ke daerah kurang bersih (risiko kontaminasi lebih tinggi) [1].

Pada kenyataannya lingkungan yang bebas kontaminasi tidak dapat tercapai, meskipun demikian pencapaian kualitas udara di dalam ruangan secara optimum harus diusahakan. Penyehatan udara ruangan adalah upaya yang dilakukan agar konsentrasi debu, temperatur dan kelembaban di dalam ruangan memenuhi persyaratan kesehatan. Tujuan pemantauan adalah mengetahui tingkat kebersihan udara pada daerah pengoperasian *hotcell* IRM (R-140), yang dapat digunakan sebagai bahan informasi untuk pengoperasian *Ventilation and Air Conditioning (VAC)*.

Lingkup penelitian ini adalah mengetahui jumlah partikel debu berdiameter 1 mikron dan 5 mikron di udara R-140 dan kaitannya dengan polutan radioaktif alam yang berasal dari bahan bangunan di dalam gedung IRM. Partikel debu berdiameter 1 mikron merupakan partikel halus ( $\leq 2,5$  mikron), sedangkan partikel debu berdiameter 5 mikron merupakan partikel kasar ( $> 2,5 \sim 10$  mikron). Untuk mengetahui polutan radioaktif alam yang dapat melekatkan diri pada debu, maka dilakukan pemantauan radioaktivitas- $\alpha$  di udara R-140 dengan mencuplik udara menggunakan kertas filter. Kertas filter tersebut kemudian langsung dicacah menggunakan alat cacah *PSR8*, dilanjutkan dengan mengulangi pencacahan setiap 30 menit sampai 270 menit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan informasi untuk pengoperasian *VAC* IRM.

## TEORI

### Klasifikasi kebersihan udara:

Ruang bersih adalah ruang yang dipertahankan hampir bebas dari kontaminan, seperti debu atau bakteri, digunakan dalam pekerjaan di laboratorium dan produksi komponen presisi untuk peralatan elektronik. Kelas untuk ruang bersih menurut *International Standard Organization* (standar *ISO 14644-1*) mengenai "Klasifikasi kebersihan udara" didasarkan pada rumus [2]:

$$C_n = 10^N (0,1 / D)^{2,08} \quad (1)$$

dengan

$C_n$  : jumlah partikel per meter kubik

maksimum yang diizinkan sama dengan atau lebih besar dari ukuran partikel yang ditentukan, dibulatkan ke seluruh jumlah.

N : kelas ISO.

D : ukuran partikel dalam mikrometer.

Ukuran partikel kontaminan biasanya diberikan dalam mikron, yaitu unit metrik ukuran di mana satu mikron adalah satu per sejuta meter. Ada 25.400 mikron dalam satu inchi. Mata masih dapat melihat partikel yang berukuran sekitar 40 mikron. Gambar 1 memperlihatkan kelas ISO berdasarkan jumlah partikel maksimum di udara per- $m^3$  dan ukuran partikel (mikron).

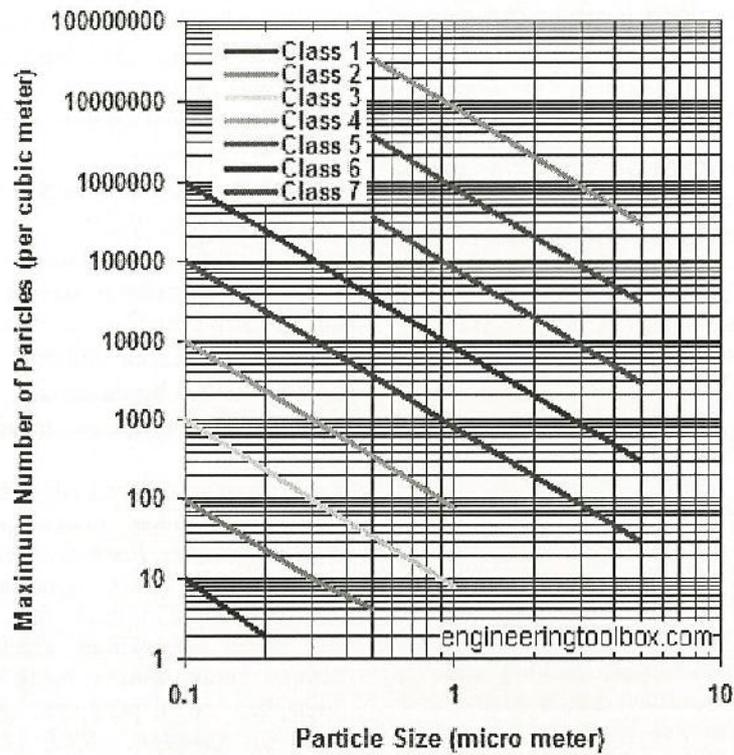
Kontaminasi radioaktif di udara laboratorium dapat dikendalikan dengan menggunakan filter *High Efficiency Particles Air (HEPA)*. Sekarang aplikasi filter HEPA digunakan di laboratorium radioaktivitas di seluruh dunia. Spesifikasi kelas 100 hasil pengukuran kualitas partikel udara berlaku untuk fasilitas ruang bersih sebagaimana ditetapkan dalam peraturan, seperti *United State Federal Standard 209E (FS209E)* atau *ISO 14644-1*. Tingkat kebersihan udara di laboratorium didefinisikan oleh jumlah partikel maksimum yang diizinkan dengan ukuran tertentu, per unit volume udara. Tabel 1 menunjukkan kelas kebersihan partikel udara dan jumlah maksimum yang diizinkan untuk ukuran partikel partikel didefinisikan menurut *ISO 14644-1* [3].

Klasifikasi tingkat kebersihan didefinisikan oleh *ISO 14644-1* dan *FS209E* yang hampir sama, berikut ini perbandingan kelas kebersihan partikel di udara (Tabel 2).

### Partikel debu:

Berdasarkan proses terbentuk dan ukurannya, partikel dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain [4]:

1. Uap: merupakan hasil kondensasi, merupakan partikel yang berbentuk bola dan berdiameter  $< 0,1$  mikron.
2. Asap: merupakan partikel karbon yang sangat halus dan berdiameter  $< 0,5$  mikron.
3. Debu: merupakan bagian dari aerosol, biasanya berwujud padat dan berbentuk *irregular* serta berdiameter  $> 1$  mikron.
4. *Coarse particle*: merupakan debu dari udara *ambient* yang berukuran  $> 2,5$  mikron dan biasanya terbentuk dari proses mekanik dan permukaan debu yang tersuspensi.



Gambar 1. Hubungan jumlah dan ukuran partikel berdasarkan kelas ISO 14644-1 [2]

Tabel 1. Kelas kebersihan partikel di udara berdasarkan ISO 14644-1 [3].

Klasifikasi ISO (N)	Batas konsentrasi maksimum (partikel/m <sup>3</sup> udara)					
	0.1 mikron	0.2 mikron	0.3 mikron	0.5 mikron	1 mikron	5 mikron
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1000	237	102	35	8	
4	10000	2370	1020	352	83	
5	100000	23700	10200	3520	832	29
6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
7				352000	83200	2930
8				3520000	832000	29300
9				35200000	8320000	293000

Tabel 2. Perbandingan kelas kebersihan partikel di udara

ISO 14644-1	FS209E	
	English	Metric
ISO kelas 1		
ISO kelas 2		
ISO kelas 3	kelas 1	M1.5
ISO kelas 4	kelas 10	M2.5
ISO kelas 5	kelas 100	M3.5
ISO kelas 6	kelas 1000	M4.5
ISO kelas 7	kelas 10000	M5.5
ISO kelas 8	kelas	M6.5
ISO kelas 9		

Ukuran partikel secara langsung terkait dengan potensinya yang dapat menyebabkan masalah kesehatan. Partikel debu yang berdiameter 10 mikrometer atau lebih kecil adalah partikel yang umumnya melewati tenggorokan dan hidung dan masuk paru-paru. Setelah terhirup, partikel-partikel ini dapat mempengaruhi jantung dan paru-paru dan menyebabkan efek kesehatan yang serius. Polusi partikel dikelompokkan menjadi dua<sup>[4]</sup>:

1. partikel kasar, seperti yang ditemukan di dekat jalan raya dan industri berdebu, lebih besar dari 2,5 mikrometer dan lebih kecil dari 10 mikrometer diameter.
2. partikel halus, seperti yang ditemukan dalam asap dan kabut, adalah diameter 2,5 mikrometer dan lebih kecil. Partikel-partikel ini dapat langsung dipancarkan dari sumber seperti kebakaran hutan, atau mereka dapat terbentuk ketika gas yang dipancarkan dari pembangkit listrik, industri dan mobil bereaksi di udara.

#### Polutan Radioaktif:

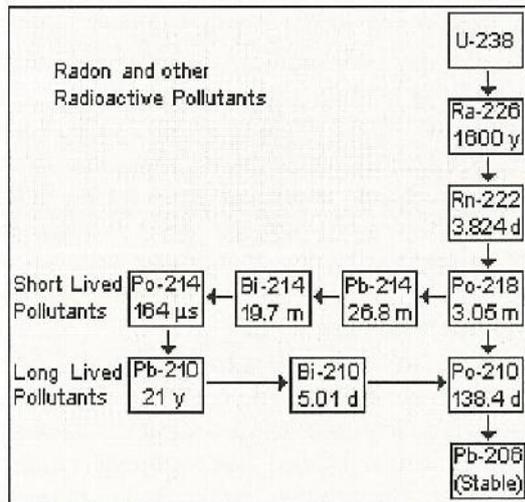
Gas mulia radioaktif radon dihasilkan oleh peluruhan radionuklida <sup>226</sup>Ra terjadi alami, yang pada gilirannya merupakan produk peluruhan <sup>238</sup>U. Radon adalah gas yang mungkin melepaskan diri ke udara dari material yang terbentuk dari uranium dan radium terjadi secara luas di tanah, batu dan air. Gas radon ada dimana-mana di luar serta di dalam ruangan. Radon meluruh ke sejumlah produk peluruhan dan keberadaannya singkat (turunan) yang radioaktif. Produk peluruhan radon dapat melekatkan diri ke partikel aerosol yang tersedia di atmosfer, sehingga membentuk apa yang disebut turunan radon keadaan 'melekat'.

Turunan radon yang tidak melekat ke aerosol tetapi dalam apa yang disebut sebagai

keadaan 'tidak melekat' dan partikel-partikel ini biasanya ditemukan dalam kisaran perkiraan ukuran 0,5 - 5 µm. Jika dihirup, turunan radon baik tidak melekat dan melekat dapat tersimpan di paru-paru dan mengirradiasi jaringan paru-paru ketika meluruh. Dalam model dosimetri paru-paru, yang merupakan situs deposisi bahan radioaktif dan lokasi sel target diperhitungkan, risiko per-unit bahan radioaktif terhirup dianggap jauh lebih besar untuk bahan radioaktif dalam keadaan 'tidak melekat' daripada bahan radioaktif dalam keadaan melekat. Sementara itu turunan radon memberikan risiko lebih besar daripada gas radon itu sendiri, kata radon ini juga digunakan secara umum sebagai singkatan untuk kedua gas dan turunannya. Sebagian besar bahan bangunan menghasilkan beberapa bahan radon dalam ruangan. Bahan bangunan memungkinkan gas radon untuk melepaskan diri, contohnya adalah beton ringan. Tingkat radon bisa tinggi dalam air tanah, terutama di daerah yang berbatu granit. Radon terdeteksi di mana-mana, tetapi tingkatannya bervariasi dari satu tempat ke tempat lainnya dan dari waktu ke waktu. Skema untuk kontrol paparan radon adalah tentu agak berbeda dari paparan ke sumber-sumber buatan. Klasifikasi wilayah di mana pekerjaan yang melibatkan radiasi dilakukan, ada dua kategori yaitu daerah pengendalian dan daerah pengawasan. Perbedaannya didasarkan pada sejauh mana prosedur operasional khusus yang dibutuhkan. Dimana Radon adalah satu-satunya sumber paparan untuk diukur yang perlu diambil. Biasanya, hasil penelaahan terhadap kondisi radiologis akan terdiri dari program pemantauan reguler daerah tersebut dan dalam beberapa kasus, dari individu yang bekerja di dalamnya<sup>[5]</sup>.

Polutan radioaktif di dalam gedung seperti radon dan turunannya (Po-218 dan Po-214) yang ditemukan dapat menimbulkan bahaya kesehatan di lingkungan gedung. Radon, selain dipancarkan oleh bahan bangunan yang berbeda, telah ditemukan memasuki rumah melalui dasar tanah atau batuan dan saluran air. Radon yang terhirup telah ditemukan dapat menyebabkan kerusakan paru-paru karena aktivitas alpha-nya. Turunan Radon yaitu Po-218 dan Po-214 yang ditemukan bahkan lebih berbahaya daripada radon itu sendiri. Radon dan turunannya melekatkan diri ke partikel debu di udara, dan

ada beberapa yang masuk ke paru-paru. Radon dan anak turunan yang telah ditemukan memberikan kontribusi paling sedikit 60 % dari dosis yang diterima oleh individu dari sumber radiasi alam. Bahaya radon dalam ruangan dan anak turunannya adalah lebih tinggi di bangunan yang memiliki ventilasi buruk. Uranium mengalami peluruhan radioaktif, spektrum yang luas menghasilkan produk turunan. Radon mengisi ruang dalam bahan bangunan rumah, kemungkinan berhasil melepaskan diri dari bahan bangunan dan bercampur dengan udara dalam ruangan. Pengalaman menunjukkan bahwa radon (Rn-222) dan thoron (Rn-220) bersama dengan produk turunannya adalah polutan radioaktif yang ditemukan dalam ruangan. Rn-222 adalah turunan Radium (Ra-226), diproduksi di deret peluruhan U-238 (Gambar 2) [6].



Gambar 2. Peluruhan radioaktif Uranium [6]

Uranium dan Thorium yang sudah ada dalam kerak bumi sejak bumi ini terbentuk meluruh di dalam kerak bumi menjadi anak-anak luruhannya yang radioaktif hingga terbentuk unsur-unsur Radium (Ra-226 dan Ra-224). Ra-226 dan Ra-224 inilah yang terkandung di dalam bahan bangunan atau dinding-dinding ruangan. Ra-226 kemudian meluruh menjadi Rn-222 (Radon), sedangkan Ra-224 meluruh menjadi Rn-220 (Thoron) dimana keduanya merupakan unsur radioaktif gas mulia dan dapat beremansi ke udara melalui pori-pori dinding bangunan. Di udara Radon dan Thoron meluruh membentuk anak-anak luruhannya yang juga radioaktif dan pada umumnya mempunyai waktu paruh (*half-life*)

yang relatif pendek, misalnya yang dominan di udara adalah Ra-B (Pb-214 dengan waktu paruh 26,8 menit) dan Ra-C (Bi-214 dengan waktu paruh 19,7 menit) dari turunan radon, serta Th-B (Pb-212 dengan waktu waktu paruh : 10,6 jam) dan Th-C (Bi-212: waktu paruh 60,6 menit) dari turunan Thoron. Di udara Radon dan Thoron meluruh membentuk anak-anak luruhannya yang juga radioaktif dan pada umumnya mempunyai waktu paruh (*half-life*) yang relatif pendek, misalnya yang dominan di udara adalah Ra-B (Pb-214 dengan waktu paruh 26,8 menit) dan Ra-C (Bi-214 dengan waktu paruh 19,7 menit) dari turunan radon, serta Th-B (Pb-212 dengan waktu waktu paruh : 10,6 jam) dan Th-C (Bi-212: waktu paruh 60,6 menit) dari turunan Thoron [7].

## METODE

Metoda pemantauan yang digunakan adalah menghitung jumlah partikel debu yang berdiameter 1 dan 5 mikron di udara R-140. Disamping itu dilakukan juga pengambilan sampel udara R-140, kemudian langsung mencacah aktivitas  $\alpha$ , dilanjutkan dengan mengulangi pencacahan setiap 30 menit sampai 270 menit.

Alat yang digunakan :

1. Alat *counter* partikel merek *Particle Monitor Instruments model GT - 521* untuk penghitungan jumlah partikel debu berdiameter 5 dan 1 mikron di udara R-140 (Gambar 3). Langkah-langkah pemantauan distribusi/ jumlah partikel dengan GT-521 di udara sebagai berikut :
  - a) menghidupkan alat tersebut dengan memasang terlebih dahulu *filter HEPA* yang tersedia diperangkat alat untuk membersihkan udara/partikel debu yang berada didalam alat GT-521.
  - b) mengatur alat untuk diameter partikel 1 dan 5  $\mu\text{m}$  dan lama pencuplikan selama 1 menit.
  - c) melengkapi alat dengan perangkat ujung pengambilan partikel.
  - d) mengoperasikan alat pada posisi pengambilan (Gambar 3) masing-masing sebanyak 5 kali setinggi  $\pm 150$  Cm.
2. Alat *Low volume air sampler* (buatan *Victoreen*) dengan skala *flowrate* 15 – 35 lpm berfungsi untuk menghisap udara

melaui kertas filter dan mengalirkannya dari titik penghisapan udara menuju filter kemudian dialirkan kembali ke titik pembuangan. Langkah pengambilan cuplikan udara, sebagai berikut:

- a) membuka *filter holder*, kemudian pasang kertas filter udara.
  - b) memeriksa sumber tegangan listrik dan hidupkan (*ON*-kan) alat, atur pada *flowmeter* 30 lpm dan waktu pencuplikan 30 menit.
  - c) melepaskan *filter holder*, kemudian ambil kertas *filter* dengan *pinset* dan masukkan ke *petri disk*.
3. *Portable scaler ratemeter* (PSR 8) Nomor seri 310 dan *Probe/detektor* sintilasi AP2 nomor seri 3451 untuk mencacah cuplikan secara total untuk radiasi  $\alpha$  (*gross*  $\alpha$ ). Langkah pencacahan radiasi  $\alpha$  udara R-140:
- a) sebelum melakukan pencacahan radiasi  $\alpha$ , periksa tanggal kalibrasi alat PSR-8, pasang probe/detektor  $\alpha$  seri AP pada alat PSR-8.
  - b) mengatur saklar alat PSR-8 pada posisi "SCINT", pastikan saklar "POWER" alat PSR-8 pada posisi "OFF", putar tombol "POWER" ke posisi "RATE" (HV-ON), kemudian tekan tombol "START", lihat *display*, pastikan bahwa terdapat respon pada alat cacah.
  - c) mengatur berturut-turut tombol *HV*, *Window* dan *threshold* secara perlahan hingga didapatkan laju cacah yang stabil, kemudian kunci ketiga tombol tersebut, alat cacah PSR-8 untuk pencacahan radiasi  $\alpha$  siap dioperasikan, atur lama pencacahan 1 menit (pencacahan akan berhenti secara otomatis).
  - d) memasukan kertas filter cuplikan udara pada laci *filter* kemudian tekan tombol "START/RESET", setelah pencacahan berhenti catat hasil cacah radiasi  $\alpha$  cuplikan udara tersebut.
  - e) mengulangi pencacahan radiasi  $\alpha$  pada cuplikan yang sama setiap 30 menit sampai 270 menit.
  - f) melakukan cacah radiasi latar dengan memasukan kertas filter *blank* (latar) pada laci *filter*, lakukan cacah radiasi latar sebanyak 3 kali, catat hasil cacah radiasi latar tersebut, diambil rata-rata.

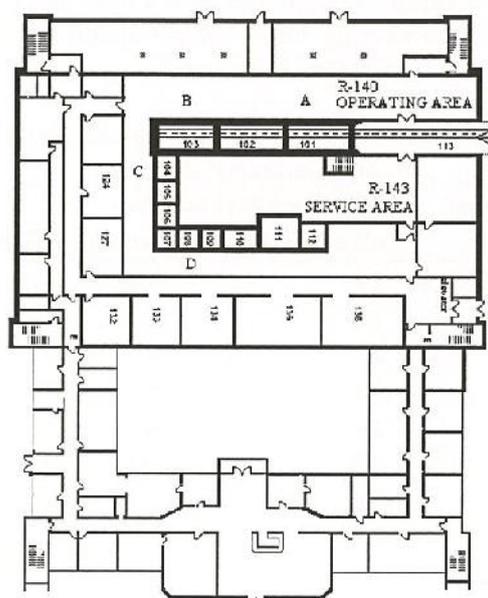
Cara kerja :

Penghitungan jumlah partikel debu, dilakukan di R-140 pada 4 posisi A, B, C dan D (Gambar 3), masing-masing sebanyak 5 kali

terhadap partikel debu berdiameter 5 mikron, kemudian terhadap partikel debu berdiameter 1 mikron. Catat hasil pemantauan, ambil rata-ratanya, kemudian tentukan kelas kebersihan udara R-140 berdasarkan standar *ISO 14644-1* dan *FS209E*.

Pengukuran temperatur dan kelembaban ruangan R-140 dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan penghitungan jumlah partikel debu.

Pengukuran aktivitas  $\alpha$  (Gambar 3) untuk mengetahui asal sumber radiasi di udara, dilakukan dengan cara pengukuran langsung kemudian pengukuran ditunda setiap 30 menit sampai 270 menit. Dari hasil pengukuran, hitung aktivitas  $\alpha$  masing-masing, kemudian dibuat grafik waktu tunda pencacahan (menit) versus aktivitas  $\alpha$  ( $Bq/m^3$ ). Lakukan analisis hasil pantau aktivitas  $\alpha$  dari grafik tersebut.



Gambar 3. Lokasi pemantauan debu di R-140

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghitungan jumlah partikel debu di ruangan R-140 (Tabel 3) dilakukan pada temperatur  $(27,68 \pm 0,59) ^\circ C$  dan kelembaban udara  $(59,80 \pm 0,32) \%$ . Dari hasil penghitungan diperoleh jumlah partikel debu berdiameter 5 mikron rata-rata  $(27 \pm 2,6)$  partikel/ $m^3$  udara, sedangkan partikel debu berdiameter 1 mikron rata-rata  $(815 \pm 6,50)$  partikel/ $m^3$  udara.

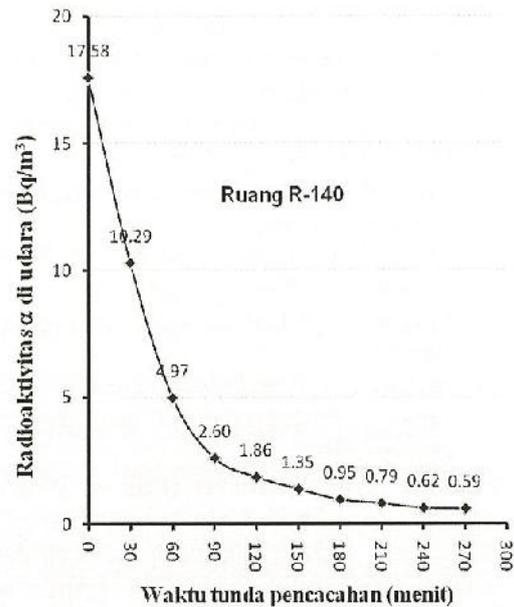
Berdasarkan standar *ISO 14644-1*, untuk ISO kelas 5 jumlah maksimum yang diizinkan adanya partikel debu berdiameter 1 mikron adalah 832 partikel/ $m^3$  udara,

sedangkan partikel debu berdiameter 5 mikron adalah 29 partikel/m<sup>3</sup> udara. Kelas kebersihan partikel di udara ISO kelas 5 (berdasarkan ISO 14644-1) sama dengan kelas 100 (berdasarkan FS209E), dimana spesifikasi kelas 100 tersebut berlaku untuk fasilitas ruang bersih. Sehingga udara daerah pengoperasian hotcell (R-140) IRM dapat dikategorikan kedalam ISO kelas 5 (standar ISO 14644-1) atau kelas 100 (standar FS209E), yaitu kategori fasilitas ruang bersih.

Untuk mengetahui sumber radioaktivitas  $\alpha$  di udara yang, pencacahan cuplikan udara perlu ditunda untuk memberi kesempatan zat radioaktif yang berasal dari alam (turunan Radon) meluruh. Radioaktivitas  $\alpha$  di udara ruang R-140 yang dicacah langsung setelah pencuplikan (tanpa penundaan) adalah 17,58 Bq/m<sup>3</sup>, selanjutnya hasil cacah setiap 30 menit, cenderung turun sampai menit ke 270 menjadi 0,59 Bq/m<sup>3</sup> (Gambar 4).

**Tabel 3. Hasil penghitungan jumlah partikel debu di udara R-140**

Ruang/ posisi	Jumlah partikel/m <sup>3</sup> udara	
	ukuran 5 mikron	ukuran 1 mikron
R-140/A	24	813
	22	822
	27	809
	22	819
	26	807
R-140/B	29	811
	31	825
	32	829
	34	811
	31	820
R-140/C	27	816
	28	806
	27	818
	28	802
	26	810
R-140/D	29	801
	27	827
	26	818
	23	819
	21	817
rata-rata	27 ± 2,60	815 ± 6,50



**Gambar 4. Waktu tunda pencacahan versus radioaktivitas  $\alpha$  di udara R-140**

Hal ini terjadi karena polutan radioaktif yang di udara R-140 diduga adalah turunan radon seperti Po-218 (waktu paruh 3,05 menit), Pb-214 (waktu paruh 26,8 menit), Bi-214 (waktu paruh 19,7 menit), dan Po-214 (waktu paruh 164 detik). Turunan radon dapat menyebabkan kerusakan paru-paru karena aktivitas  $\alpha$ -nya, bahkan lebih berbahaya daripada radon itu sendiri.

Pengalaman menunjukkan bahwa radon (Rn-222) dan thoron (Rn-220) bersama dengan produk turunannya adalah polutan radioaktif yang paling utama ada di dalam ruangan. Turunan radon tersebut kemungkinan melekat di partikel debu yang mengisi ruang dalam bahan bangunan (tanah, pasir, karang, kerikil, dan lain lain). Turunan radon dapat melepaskan diri dari bahan bangunan tersebut dan melekat pada partikel debu di udara. yang dapat terhirup oleh saluran pernafasan. Penyehatan udara ruangan merupakan upaya yang harus dilakukan agar konsentrasi debu memenuhi persyaratan kesehatan, sehingga pengoperasian sistem VAC perlu lebih dioptimalkan, karena pencapaian kualitas udara dalam ruangan yang lebih baik harus diusahakan.

**KESIMPULAN**

Kesimpulan hasil pemantauan, bahwa tingkat kebersihan udara pada daerah pengoperasian

*hotcell* IRM adalah Kelas 5 (menurut ISO 14644-1) atau Kelas 100 (menurut FS209E) dan dari sudut pandang keselamatan radiasi bahwa tingkat radioaktivitas- $\alpha$  di udara (tanpa penundaan pencacahan) tidak melebihi batasan yang diizinkan yaitu dibawah 20 Bq/m<sup>3</sup> udara.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Instalasi Radiometalurgi", No. Dok. KK20J09002, Revisi 6, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN, (2006).
2. ISO, "Clean Room Class Limits According ISO Standard 14644", International Organization For Standardization, Geneva (2005).
3. IAEA-TECDOC-1339H, "Clean Laboratories And Clean Rooms For Analysis Of Radionuclides And Trace Elements", IAEA, Vienna (2003).
4. Ruzer, Harley (Ed), "Aerosols Handbook: Measurement, Dosimetri And Health Effects", CRC Press, (2003).
5. IAEA, "Radiation Protection Against Radon In Workplaces Other Than Mines", Safety Reports Series No. 43, International Atomic Energy Agency, Vienna (2003).
6. Khan, H.A., "Indoor Radioactive Pollution Due To Radon And Its Daughters", Journal Of Islamic Academy Of Sciences 5:4, 249-255, (1993).
7. Blats, H., *Radiation Hygiene Handbook*, Mc. Graw Hill Book Co. Inc., New York (1959).