

PEMANTAUAN KERADIOAKTIFAN UDARA RUANGAN KERJA INSTALASI RADIOMETALURGI SAAT SUPPLY FAN DIMATIKAN

Muradi, Sjafruddin

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

ABSTRAK

PEMANTAUAN KERADIOAKTIFAN UDARA RUANGAN KERJA INSTALASI RADIOMETALURGI (IRM) PADA SAAT SUPPLY FAN DIMATIKAN. Pemantauan keradioaktifan udara di ruangan kerja IRM pada saat *supply fan* dimatikan (*off*) telah dilakukan untuk mengetahui terpenuhinya ketentuan keselamatan radiologi bagi pekerja radiasi. Pemantauan dilakukan dengan cara pencuplikan udara melalui suatu kertas filter yang dipasang pada alat pencuplik udara (*air sampler*). Partikulat-partikulat radioaktif yang tercuplik pada kertas filter dicacah dengan alat ukur SAC-4 dan PSR-8 secara pencacahan total (*gross*) berturut-turut terhadap radiasi α dan β . Hasil pemantauan dibandingkan terhadap persyaratan keselamatan radiologi pada LAK IRM. Dari hasil pemantauan diperoleh bahwa tingkat keradioaktifan udara tertinggi untuk radiasi α dan β berturut-turut sebesar $(0,072 \pm 0,015)$ Bq/m³ di R-143 dan $(6,911 \pm 0,335)$ Bq/m³ di R-135. Hasil menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat keradioaktifan α , sedangkan tingkat keradioaktifan β meningkat. Namun demikian tingkat keradioaktifan udara pada kondisi *supply fan* dimatikan masih di bawah batasan konsentrasi keradioaktifan udara yang diizinkan.

Kata kunci: Keradioaktifan udara, Laporan Analisis Keselamatan, *supply fan*,

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) merupakan fasilitas nuklir untuk keperluan uji pascairadiasi yang operasionalnya harus memenuhi persyaratan keselamatan radiologi seperti yang diuraikan dalam Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) IRM Revisi 6 tahun 2006. Salah satu persyaratan keselamatan tersebut adalah batasan tingkat keradioaktifan udara yang diizinkan (*Maximum Permissible Concentration = MPC*) di ruangan kerja IRM untuk pekerja radiasi. LAK IRM menyatakan bahwa dalam operasional normal (sesuai desain) IRM, *MPC* tidak boleh melampaui 20 Bq/m³ dan 200 Bq/m³ untuk radioaktivitas α dan β berturut-turut^[1].

Sebagai fasilitas nuklir untuk memproses zat-zat radioaktif yang memungkinkan terjadinya kontaminasi ke udara ruangan kerja, maka IRM didesain dengan sistem ventilasi udara sedemikian rupa agar tingkat kontaminasi udara di daerah kerja dapat dikontrol dan pekerja radiasi yang bekerja di ruangan tersebut terhindar dari bahaya radiasi interna. Sistem ventilasi di IRM tidak saja dapat mengatur aliran udara ruangan kerja, tetapi juga dapat mengatur kondisi udara pada fasilitas-fasilitas untuk memproses zat-zat radioaktif, seperti *fumehood*, *glovebox*, dan *hotcell*. Bahkan fasilitas-fasilitas tersebut memiliki kontrol ventilasi yang lebih ketat karena mengandung zat-zat radioaktif.

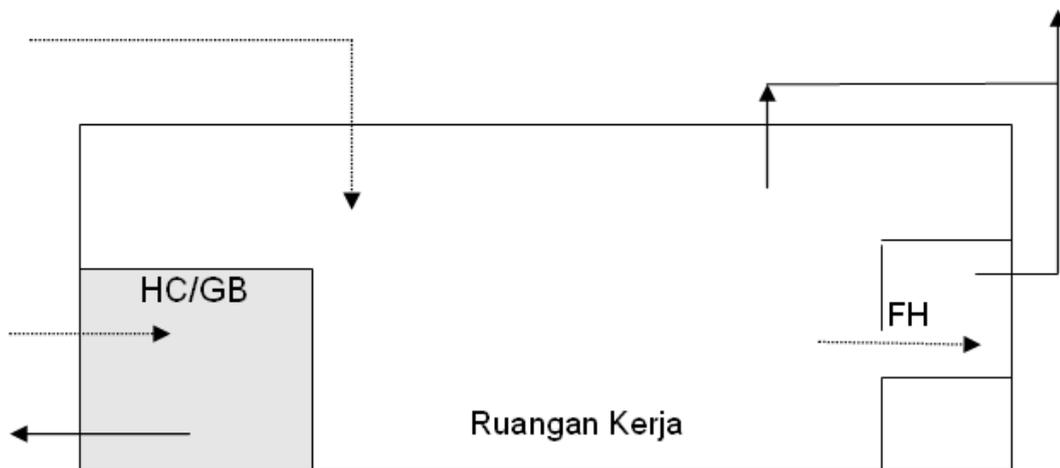
Untuk mencegah zat radioaktif tersebut tersebar ke udara ruangan kerja (kontaminasi udara) biasanya tekanan udara di dalam ruangan fasilitas-fasilitas tersebut dibuat lebih negatif daripada di ruangan kerja, selain juga dibatasi oleh dinding-dinding untuk mencegah bahaya radiasi dan kontaminasi.

Pemantauan keradioaktifan udara ruangan kerja pada saat *supply fan* sistem ventilasi IRM dimatikan merupakan kegiatan khusus (biasanya dipantau pada saat *supply fan* beroperasi) untuk mengetahui apakah terjadi perubahan tingkat keradioaktifan udara ruangan kerja pada kondisi tersebut dan apakah perubahan tersebut melampaui MPC yang ditetapkan dalam LAK IRM. Adapun latar belakang kegiatan ini adalah untuk keperluan program efisiensi atau penghematan pemakaian daya listrik (dengan cara mematikan motor *supply fan*) operasional IRM tanpa mengabaikan persyaratan keselamatan radiologi pekerja radiasi. Sedangkan fokus bahasan hanya ditinjau dari masalah keselamatan radiologi, bukan yang terkait dengan hal lain akibat *supply fan* dimatikan, seperti adanya perubahan temperatur (misal untuk kenyamanan bekerja) dan kelembaban ruangan (misal untuk keperluan perawatan instrumentasi).

Untuk keperluan pemantauan keradioaktifan udara tersebut di atas digunakan cara pencuplikan partikulat udara melalui kertas filter yang dipasang pada alat pencuplik udara (*air sampler*) yang laju alir penghisapan udaranya diketahui. Lama pencuplikan digunakan untuk mengetahui volume udara tercuplik, sedangkan besarnya keradioaktifan partikulat yang terkumpul pada kertas filter dicacah dengan alat cacah radiasi- α dan β .

TEORI

Sistem ventilasi pada suatu instalasi nuklir selain dimanfaatkan untuk pengondisian udara di ruangan kerja sehingga dikenal sebagai VAC (*Ventillation and Air Conditioning*) System dan menyediakan udara segar, juga bertujuan untuk keselamatan radiologi pekerja radiasi dengan cara membawa kontaminan zat-zat radioaktif yang terdispersi di udara ke sistem penyaring udara (*HEPA filter*) dan selanjutnya dilepas ke lingkungan melalui cerobong. Untuk maksud tersebut sistem ventilasi didesain sedemikian rupa agar aliran udara menuju ke tempat (zona) yang lebih kotor atau tingkat kontaminasinya lebih tinggi dengan sistem tekanan negatif. Di ruangan kerja IRM untuk mengalirkan udara ke titik pembuangan melalui saluran ventilasi (*ducting*) digunakan *exhaust fan*, sedangkan untuk pasokan udara segar digunakan *supply fan*. Hal yang sama juga berlaku untuk fasilitas *hot-cell* dan *glove-box*, adapun *fume-hood* hanya memiliki *exhaust fan* yang udaranya mengalir dari ruangan kerja melalui jendela terbuka. Gambar-1 memperlihatkan skema sederhana aliran udara di ruangan kerja.



Gambar-1: Skema sederhana aliran udara ruangan kerja. Garis putus adalah aliran udara dari hembusan *supply fan* dan garis tidak putus adalah aliran udara hisapan *exhaust fan* FH = *fumehood*, GB = *glovebox* dan HC = *hotcell*

Keradioaktifan udara di ruangan kerja instalasi nuklir terjadi karena adanya dispersi zat-zat radioaktif yang sedang diproses ke udara. Selain itu, keradioaktifan udara juga terjadi secara alamiah karena dinding bangunan ruangan kerja (termasuk tanah di luar gedung) mengemanasi zat radioaktif alam gas Radon/Thoron ke udara. Rhadon dan Thoron adalah turunan dari zat-zat radioaktif alamiah Uranium dan Thorium yang terkandung dalam kerak bumi sejak bumi ini tercipta. Radon/Thoron di udara kemudian meluruh menjadi deretan anak luruhnya yang juga radioaktif. Dengan demikian ada dua komponen keradioaktifan udara ruangan kerja yaitu yang berasal dari kontaminasi zat-zat radioaktif yang diproses dan yang berasal dari alam.

METODOLOGI

Kondisi lingkungan ruangan kerja

Pemantauan keradioaktifan udara di ruangan kerja IRM pada kondisi operasi normal (*supply fan* berfungsi) dilakukan secara rutin setiap hari Kamis. Lima data pemantauan terakhir pada kondisi operasi normal (sebelum *supply fan* dimatikan) dijadikan dasar analisis kegiatan ini. Pada hari Jum'at, 25 April 2008 pukul 16.00, *supply fan* untuk ruangan kerja saja yang dimatikan, tetapi *exhaust fan* untuk seluruh sistem ventilasi tetap berfungsi. Dengan demikian pasokan udara dari luar (lingkungan) ke ruangan kerja akan berkurang.

Pengambilan cuplikan untuk pemantauan keradioaktifan udara saat *supply fan* mati dilakukan pada hari Sabtu, 26 April 2008 mulai pukul 10.00 atau setelah 18 jam *supply fan* dimatikan. Berdasarkan waktu tersebut (setelah 18 jam) dapat dianggap telah terjadi keseimbangan radioaktif dari zat-zat radioaktif alamiah (Radon dan turunannya) yang berasal dari dinding-dinding bangunan, karena mempunyai waktu paruh yang relatif

pendek ($T_{1/2}$ Ra-B: 26,8 menit dan Ra-C: 19,7 menit). Pencuplikan juga dilakukan secara rutin setiap hari Kamis pada minggu berikutnya (untuk empat data pemantauan) pada kondisi *supply fan* tidak difungsikan.

Pencuplikan udara

Ruangan yang dicuplik udaranya untuk maksud kegiatan ini adalah ruangan-ruangan kerja yang secara rutin dipantau keradioaktifan udaranya, yaitu: R-140 (*operating area*), R-143 (*service area*), R-136 (Lab. Kimia aktivitas sedang) dan R-135 (Lab. Kimia aktivitas medium). Pencuplikan dilakukan dengan menggunakan pencuplik udara (*air sampler*) yang telah dipasang kertas filter udara *Whatmann-41*. Kertas filter berfungsi untuk mengumpulkan kontaminan udara saat udara dicuplik. Laju pencuplikan udara diatur pada posisi 35 liter/menit dan lama pencuplikan antara 25 sampai 30 menit sehingga dapat diketahui volume udara yang tercuplik. Adapun pencuplikan dilakukan satu kali untuk setiap ruangan kerja.

Pencacahan cuplikan

Setelah pencuplikan udara, kertas filter dimasukkan ke dalam wadah filter untuk melindungi cuplikan (menghindari kontaminan dari luar atau jatuhnya kontaminan dari kertas filter). Filter dibawa ke ruang cacah untuk persiapan pencacahan. Sebelum pencacahan cuplikan, dilakukan juga pengukuran cacahan latar (*background*) untuk koreksi cacahan yang sesungguhnya. Dua alat cacah radiasi SAC-4 untuk pencacahan α dan PSR-8 untuk pencacahan β yang efisiensi pencacahannya sudah diketahui digunakan untuk kegiatan ini. Pencacahan dilakukan secara berturut-turut menggunakan SAC-4 dan kemudian dilanjutkan dengan PSR-8 selama 10 menit. Untuk mengetahui adanya pengaruh radioaktivitas alamiah yang ikut terkumpul pada filter saat pencuplikan, pencacahan juga dilakukan segera setelah pencuplikan dan dilanjutkan setiap 30 menit sampai umur cuplikan 4 jam untuk radiasi- α .

Penghitungan tingkat keradioaktifan udara pada cuplikan

Selesai pencuplikan udara, kertas filter kemudian segera dicacah terhadap radiasi α dan β untuk mendapatkan besarnya cacahan. Cacahan terukur pada alat cacah dikurangi terhadap cacah latar untuk mendapatkan cacahan bersih (*netto*). Untuk menghitung besarnya konsentrasi keradioaktifan udara digunakan rumus berikut ^[2] :

Penghitungan tingkat keradioaktifan udara pada cuplikan

Selesai pencuplikan udara, kertas filter kemudian segera dicacah terhadap radiasi α dan β untuk mendapatkan besarnya cacahan. Cacahan terukur pada alat cacah

dikurangi terhadap cacah latar untuk mendapatkan cacahan bersih (*netto*). Untuk menghitung besarnya konsentrasi keradioaktifan udara digunakan rumus berikut ^[2] :

$$K \text{ [Bq/m}^3\text{]} = \frac{C \text{ [cacah/menit]}}{Ed \text{ [\%]} \times D \text{ [liter/menit]} \times t \text{ [menit]} \times 10^{-3} \text{ [m}^3\text{/liter]}}$$

Dengan K adalah konsentrasi keradioaktifan udara, C adalah besarnya cacahan, Ed adalah efisiensi pencacah atau detektor, untuk alat SAC-4 (α) adalah 24% dan alat PSR-8 (β) adalah 36%, D adalah debit udara terhisap saat pencuplikan, t adalah lamanya pencuplikan udara dan 10^{-3} adalah konversi liter ke m^3 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pemantauan keradioaktifan udara di empat ruangan kerja yang telah ditetapkan untuk dipantau udaranya (masing-masing ruangan lima kali pengukuran pada saat *supply fan* berfungsi dan dimatikan atau total 10 data per ruangan), diperoleh hasil seperti pada Tabel-I berikut:

Tabel-1: Konsentrasi rata-rata dan standar deviasi keradioaktifan udara ruangan kerja IRM sebelum dan sesudah *supply fan* (*SF*) dimatikan dan MPC.

Ruangan	Radioaktifitas- α [Bq/m ³]			Radioaktivitas- β [Bq/m ³]		
	SF "on"	SF "off"	MPC	SF "on"	SF "off"	MPC
R-143	0,516±0,093	0,072±0,015	20	2,780±0,340	3,336±0,158	200
R-140	0,336±0,085	0,069±0,013		0,897±0,023	1,430±0,093	
R-136	0,397±0,053	0,066±0,021		0,794±0,035	5,719±0,233	
R-135	0,198±0,059	0,065±0,018		1,589±0,153	6,911±0,335	

Berdasarkan data hasil pemantauan pada Tabel di atas diperoleh bahwa pada saat sistem ventilasi IRM beroperasi normal (*SF "on"*) tingkat keradioaktifan udara ruangan kerja di bawah MPC. Pada saat *supply fan* untuk ruangan kerja sistem ventilasi IRM dimatikan (*SF "off"*) terjadi perubahan keradioaktifan udara baik untuk radioaktivitas- α maupun β . Pada kondisi sistem ventilasi tersebut terjadi penurunan tingkat radioaktivitas- α , sedangkan untuk radioaktivitas- β terjadi peningkatan. Namun demikian walaupun terjadi peningkatan, MPC yang ditetapkan dalam LAK IRM belum terlampaui.

Terjadinya perubahan tingkat keradioaktifan udara saat *supply fan "off"* jika dibandingkan pada saat operasi normal disebabkan oleh perubahan jumlah pasokan udara yang masuk ke ruangan kerja. Penurunan radioaktivitas- α di udara disebabkan berkurangnya radioaktif alamiah yang masuk ke ruangan kerja dari lingkungan luar instalasi yang ikut terbawa udara pasokan. Selain dinding-dinding bangunan instalasi,

tanah di sekitar atau di luar instalasi juga mengemanasi gas Radon ke udara lingkungan^[3] dan dapat masuk ke ruangan kerja melalui sistem ventilasi. Jadi jika *supply fan* tidak difungsikan maka terjadi pengurangan gas Radon yang masuk ke ruangan kerja. Peluruhan gas Radon dan turunannya yang teremanasi ke udara ruangan kerja merupakan komponen penting keradioaktifan- α udara. Hal ini dibuktikan dengan karakteristik peluruhan zat radioaktif alamiah pada kertas filter cuplikan, yaitu meluruh relatif cepat pada menit atau jam pertama umur cuplikan karena $T_{1/2}$ cukup pendek dan mendekati nol setelah umur cuplikan empat jam. Adapun terjadinya peningkatan radioaktivitas- β berasal dari kontaminan yang ada di ruangan kerja akibat adanya zat-zat radioaktif produk fisi dalam kegiatan IRM. Zat-zat radioaktif tersebut merupakan komponen penting (dominan) radioaktivitas- β udara. Penurunan pasokan udara ke ruangan kerja dapat mengurangi laju pengeluaran udara keluar instalasi sehingga terjadi peningkatan kontaminan yang berasal dari dalam ruangan jika dibandingkan pada saat tersedia pasokan udara.

KESIMPULAN

Hasil pemantauan keradioaktifan udara ruangan kerja pada saat *supply fan* tidak difungsikan (*off*) menunjukkan bahwa terjadi perubahan tingkat keradioaktifan udara. Perubahan terjadi pada kenaikan tingkat keradioaktifan radiasi- α sampai delapan kali, sedangkan keradioaktifan radiasi- β terjadi penurunan sampai enam kali pada semua ruangan yang diukur tingkat keradioaktifan udaranya. Untuk radiasi- α tertinggi terjadi di R-143 sebesar $0,072 \pm 0,015 \text{ Bq/m}^3$ dan untuk radiasi- β tertinggi di R-135 sebesar $6,911 \pm 0,335 \text{ Bq/m}^3$. Namun demikian perubahan tingkat keradioaktifan udara tersebut masih dibawah batas yang diizinkan seperti yang ditetapkan dalam LAK IRM. Berdasarkan hasil tersebut dan dari sudut pandang keselamatan radiologi dapat disimpulkan bahwa tidak ada bahaya radiasi (interna) bagi pekerja radiasi yang bekerja di ruangan selama *supply fan* dimatikan, namun komponen-komponen lain pada sistem ventilasi tetap beroperasi normal.

SARAN

Untuk keperluan lebih lanjut dalam rangka penghematan energi dengan mematikan *supply fan*, hendaknya juga perlu dipertimbangkan dari segi kenyamanan bekerja personel di dalam ruangan kerja dan keamanan instrumen-instrumen di ruangan kerja yang sensitif terhadap kondisi temperatur dan kelembaban lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

1. TIM REVISI LAPORAN ANALISIS KESELAMATANM PTBN, "Laporan Analisis Keselamatan IRM", PTBN, Revisi 6, 2006.
2. ANONIM, "Prosedur Pemantauan Radioaktivitas/Radiasi di Daerah Kerja PTBDU", Revisi 0, No. Dok. KK22 D11 001, 2002.
3. ALMENAS, K. and LEE, R., "Nuclear engineering: An Introduction", Springer-Verlag, Berlin, 1992.
4. ANONIM, "Keputusan Kepala BAPETEN No. 1/KA-BAPETEN/V-1999 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi BAPETEN", 1999.