



ID0200133

ANALISIS SUMBER RADIASI INTERNA DAN RADIOTOKSISITAS ATAS DASAR DISTRIBUSI AEROSOL DI IRM

Indro Yuwono

Pusat Teknologi Pengamanan Bahan Nuklir - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS SUMBER RADIASI INTERNA DAN RADIOTOKSISITAS ATAS DASAR DISTRIBUSI AEROSOL DI IRM. Hasil fisi bahan bakar nuklir pasca iradiasi dalam pengujian merusak di instalasi radiometalurgi dapat menyebabkan kontaminasi udara daerah kerja berupa aerosol radioaktif. Penghisapan aerosol radioaktif oleh para pekerja akan menjadi sumber radiasi interna. Potensi bahaya partikel radioaktif dalam tubuh tergantung juga pada klasifikasi radiotoksisitasnya. Prosentase pengendapan partikel radioaktif dalam tubuh ditentukan oleh ukuran partikel. Analisis sumber radiasi interna dan radiotoksisitas menunjukkan bahwa sumber radiasi interna pada operasi normal berupa radioaktif alam dengan radiotoksisitas tinggi yaitu Pb-212 dan Ac-228. Pengendapan tertinggi terdapat pada daerah *aveolar instersial* (Ai) sebesar 95% dan terendah pada daerah *bronchial* (BB) sebesar 1%, keduanya untuk ukuran partikel 11,7 nm dan 350 nm.

ABSTRACT

ANALYSIS OF INTERNAL RADIATION AND RADIOTOXICITY SOURCE BASE ON AEROSOL DISTRIBUTION IN RMI. Destructive testing of nuclear fuel element during post irradiation examination in radiometallurgy installation may cause air contamination in the working area in the form of radioactive aerosol. Inhalation of the radioactive aerosol by worker will to become internal radiation source. Potential hazard of radioactive particle in the body also depends on the level of radiotoxicity. Deposit of radioactive particle in the body depends on the particle size. Analysis of internal radiation source and radiotoxicity showed that in the normal operation only natural radioactive materials are found with high radiotoxicity, i.e. Pb-212 and Ac-228. High deposit in the *aveolar instersial* (Ai) is 95% and lower in the *bronchial* area (BB) is 1% for particle size 11.7 nm and 350 nm respectively.

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) adalah instalasi di Bidang Teknologi Daur Ulang dan Pasca Iradiasi (BTDUPI) dalam Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar nuklir dan Daur Ulang (P2TBDU) merupakan sarana untuk melakukan pengujian bahan bakar bekas / pasca iradiasi. Pengujian dilakukan secara merusak atau *destructive testing* (DT) dan *non destructive testing* (NDT) yang semuanya dilaksanakan di dalam *hot cell*. Pada proses penyiapan cuplikan untuk pengujian merusak, bahan bakar bekas dibongkar dan dipotong dalam ukuran sesuai kebutuhan. Dalam proses pemotongan tersebut dimungkinkan adanya serbuk/debu radioaktif yang tersebar diudara dalam bentuk aerosol. Aerosol radioaktif hasil proses pemotongan bahan bakar bekas melalui saluran udara atau ducting" pada sistem *Ventilation and Air Conditioning* (VAC) memungkinkan tersebar ke daerah kerja. Penghisapan aerosol ini memberikan resiko adanya sumber radiasi interna bagi pekerja radiasi. Mengingat lokasi instalasi yang berdekatan dengan instalasi lain yang juga

berpotensi melepaskan debu radioaktif melalui cerobong lepasan udara buang instalasi yang terkait maka ada kemungkinan udara yang telah terkontaminasi tersebut masuk sebagai udara segar melalui *prefilter* dalam sistem. Walaupun udara buang dari instalasi nuklir telah dilewatkan *HEPA filter*, namun karena efisiensinya maksimum hanya 99,97% maka masih ada kemungkinan yang 0,03% lolos, kemungkinan adanya kebocoran sistem aliran udara negatif dari luar gedung serta turnnya efisiensi filter. Dengan demikian maka udara yang telah terkontaminasi tersebut dapat merupakan sumber radiasi interna bagi para pekerja radiasi bila terhirup melalui pernapasan. Dalam operasi normal atau tak ada kecelakaan sumber radiasi interna bagi para pekerja radiasi cenderung tetap.

Adanya berbagai radionuklida produk fisi serta masuknya udara segar / udara luar melalui saluran hisap akan memberikan variasi tingkat radiotoksisitas radionuklida yang terhirup oleh pekerja. Kondisi tersebut akan tergantung pula pada pola distribusi aerosol dalam instalasi. Ukuran butir dan

pola aliran udara yang berpengaruh pada pola distribusi aerosol dapat menyebabkan jenis radionuklida yang berbeda di setiap zona daerah kerja BTDUPI, meliputi zona I, II, III dan IV. Semakin tinggi zona kerjanya semakin pula tekanan negatif udaranya terhadap udara luar. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat diketahui jenis radionuklida yang berpotensi terhirup melalui pernapasan oleh pekerja radiasi dan kemungkinan tertinggal dalam tubuh sebagai sumber radiasi interna.

TEORI

Sesuai dengan fungsi utamanya instalasi radiometalurgi melakukan pengujian bahan bakar pasca iradiasi dan yang banyak dilakukan pengujian dalam instalasi ini adalah bahan bakar pasca iradiasi dari RSG.GA. Siwabessy yaitu bahan bakar tipe MTR-30. Berbagai jenis produk fisi kemungkinan terlepas keluar dari kungkungannya dalam proses pemotongan persiapan cuplikan. Menurut hasil perhitungan dalam disain dasar yang tertuang di *preliminary safety analysis report (PSAR)* ⁽¹⁾ dari pemasok utama yaitu Interatom GCNF Jerman, produk hasil fisi yang terkandung dalam bahan bakar pasca iradiasi RSG-GAS jenis MTR-30 yang kemungkinannya terlepas dari hot cell dan keluar serta hasil fisi dengan origen II disampaikan dalam tabel 1. Dalam perjalanan udara ke cerobong yang kemungkinan terkontaminasi dengan berbagai radionuklida, ada kemungkinan terlepas ke dalam daerah kerja khususnya bila ada arus balik karena kegagalan sistem VAC. Apabila hal tersebut terjadi maka radionuklida yang terhirup akan menjadi sumber radiasi interna bagi para pekerja radiasi.

Pengertian radiotoksitas adalah ukuran kemampuan radionuklida apabila masuk dalam tubuh menyebabkan kerusakan jaringan dan organ tubuh. Tingkatan dari radiotoksitas didasarkan pada *derived air concentration (DAC)* dari masing-masing radionuklida. Menurut *Council of the European Communities (CEC)* ⁽²⁾ dan ketentuan BATAN ⁽³⁾, radiotoksitas dibedakan dalam 4 kelas yaitu, kelas I : Radiotoksitas sangat tinggi, kelas II : Radiotoksitas tinggi, kelas III : Radiotoksitas sedang dan kelas IV : Radiotoksitas rendah. Menurut perhitungan origen II oleh Pusat Pengembangan

Teknologi Reaktor Riset (P2TRR) dan perkiraan dari PSAR radionuklida yang ada dalam bahan bakar pasca iradiasi dan berpotensi terlepas ke lingkungan atau daerah kerja adalah:

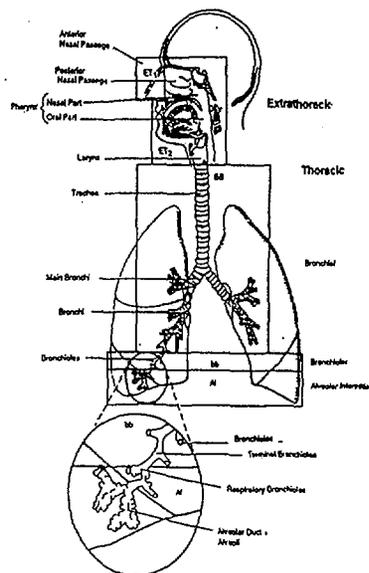
1. Kelas I : Am(241, 243), Cm(242, 243, 244), Pu(238, 239, 240, 242)^(PSAR)
2. Kelas II: Sr 90, Ru 106, I 131, Cs 134, Ce 144, Eu 154^(PSAR), Sr, Y, Zr, Nb, Ru, Sb, I, Ce, Cs.
3. Kelas III: Y 90, Zr 95, Nb 95, Te (125 m, 127 m), Cs 137, Eu 155^(PSAR), As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Sn, Sb, Te, I, Xe, Cs, Ba, La, Ce, Pr.
4. Kelas IV: H 3, Kr 85, Xe 131 m, U 238(nat)^(PSAR), Cs, Nb, Kr, I

Dari kondisi tersebut diatas terlihat bahwa kemungkinan sumber radiasi interna bagi para pekerja radiasi dalam pengujian bahan bakar pasca iradiasi meliputi berbagai jenis radionuklida dengan ragam tingkat radiotoksitas yang berbeda-beda.

Tabel 1. Hasil fisi eb RSG-GAS dari Origen II dan PSAR

No.	Origen II	PSAR	Keterangan
1	As	H 3	Hasil fisi perhitungan dengan Origen II didasarkan atas bahan bakar U235 - 19,75%. Burn-Up 48%
2	Se	Kr 85	
3	Br	Sr 90	
4	Kr	Y 90	
5	Rb	Zr 95	
6	Sr	Nb 95	
7	Y	Ru 106	
8	Zr	Rh 106	
9	Nb	Ag 11 OM	
10	Mo	Sb 125	
11	Tc	Te 125M, 127, 127M	
12	Ru	I 131	
13	Rh	Xe 131 M	
14	Sn	Cs 134, Cs 137	
15	Sb	Ba 137 M	
16	Te	Ce 144	
17	I	Pr 144	
18	Xe	Eu 154, 155	
19	Cs	U 238	
20	Ba	Pu 238, 239, 240, 242	
21	La	Am 241, 243	
22	Ce	Cm 242, 243, 244	
23	Pr		
24	Nd		
25	Pm		

Sumber radiasi interna yang perlu diperhatikan atas dasar sifat radiasinya adalah radionuklida dengan pemancar alfa (α) karena daya rusaknya yang tinggi. Paparan radiasi interna melalui jalur pernapasan disebabkan karena menghirup aerosol radioaktif dan terjadi pengendapan. Jalur pengendapan partikel yang terhirup disampaikan dalam gambar 1.



Gambar 1. Sistem alur pernapasan dan daerah penengndapan partikel

Dalam gambar 1 terlihat ada tiga bagian utama pengendapan yaitu diluar thorax dan dalam thorax serta daerah *bronchiolar*. Kemungkinan pengendapan partikel radioaktif dalam tubuh utamanya sesuai dengan alur pernapasan yaitu daerah hidung (ET1), daerah dari ujung saluran hidung hingga tenggorokan (ET2), saluran tenggorokan sampai ke saluran masuk paru-paru (BB), saluran anak cabang ke paru-paru (bb) dan ujung saluran (AI) seperti digambarkan dalam gambar 1^[4]

Aerosol merupakan kumpulan partikel yang terdispersi dan mengapung dalam gas / udara Khusus untuk partikel alfa (α) masih merupakan masalah yang pelik karena tak dapat dilakukan pengukuran secara langsung pada para pekerja tetapi hanya menggunakan model teoritik. Jumlah partikel terhirup dan fraksi pengendapan dalam tubuh dipengaruhi oleh ukuran butiran partikel aktif. Ukuran partikel aktif menurut *International Commission Radiation Protection (ICRP)* publikasi 68 dinyatakan dalam satuan AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter) untuk partikel $> 0,5 \mu\text{m}$ dan dalam satuam AMTD (Activity Median Thermodynamic Diameter) untuk partikel $< 0,5 \mu\text{m}$.^(4,5) Satuan tersebut adalah satuan yang diharapkan telah mewakili sifat karakteristik partikel radioaktif yaitu hamburan, radiasi, kelembaban, difusi elektrostatik, pengendapan termal dan jejak

partikel di udara yang masuk melalui sistem pernapasan.^[6]

TATA KERJA

Setelah persiapan secara lengkap mulai dari peralatan pengambil cuplikan dan analisis selesai kemudian dilakukan penelitian dengan tahapan sebagai berikut.

1. Pengukuran efisiensi HEPA filter untuk daerah hot cell dan daerah kerja dengan portacount plus bekerjasama dengan P3KRBiN.
2. Dilakukan pengambilan cuplikan udara di daerah operasi, daerah perawatan dan daerah luar gedung sebagai pembanding dengan alfa (α)- beta (β) aerosol, kapasitas hisap 40 m³/jam dan lama penghisapan 30 menit.
3. Filter berisi cuplikan udara dicacah dengan MCA Ortec detektor PGT-HPGe selama 600 detik.
4. Dari hasil cacahan tersebut diidentifikasi jenis radionuklidanya.

HASIL DAN BAHASAN

Mendukung asumsi adanya radionuklida yang terlepas ke daerah kerja disamping disebabkan kemungkinan adanya arus balik juga turunnya tingkat efisiensi filter dilakukan penelitian berkenaan dengan efisiensi filter. Dari hasil penelitian /pengujian efisiensi dengan Portacount plus diperoleh hasil ada beberapa filter di daerah hot cell yang efisiensinya relatif rendah dibawah 90% yaitu untuk :

- Filter 6A = 86,31% Filter 6B= 88,75%
- Filter I = 86,97% Filter II = 78,14%
- Filter III = 85,44%

Dari data tersebut diatas terlihat bahwa kemungkinan adanya radionuklida yang terlepas ke dalam daerah kerja relatif besar untuk partikel berukuran $< 0,3 \mu\text{m}$ karena efisiensi filter dirancang sebesar 99,97% untuk partikel dengan ukuran $> 0,3 \mu\text{m}$.

Jenis radionuklida yang terdapat di daerah operasi dan daerah perawatan disampaikan dalam tabel 2. Dari data dalam tabel 2 dan atas dasar tabel 1 terlihat bahwa dalam proses pengujian bahan bakar bekas di instalasi radiometalurgi selama ini tidak ada radionuklida hasil fisi yang terlepas ke daerah kerja/operasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa selama operasi pengujian bahan bakar bekas yang telah dilakukan di BTDUPI

udara daerah kerja bebas dari radionuklida hasil fisi walaupun ada beberapa filter yang efisiensinya telah menurun. Dengan demikian maka potensi bahaya sumber radiasi interna bagi para pekerja radiasi dalam keadaan normal tanpa ada kegagalan operasi system misalnya VAC maka hanya berupa radionuklida alam yang merupakan turunan dari deret U-238 dan deret Th-232.

Tabel 2. Radionuklida yang terdapat di daerah operasi dan daerah perawatan BTDUPI.

No	Radionuklida	Umur paruh	Induk radionuklida
1	Pb-212	10,64 jam	Th-232
2	Pb-214	26,8 menit	U-238
3	Ti-208	3 menit	Th-232
4	Bi-214	19,7 menit	U-238
5	Ac-228	6 jam	Th-232
6	K-40	1,28.10 ⁹ tahun	Alam

Umur paruh terpanjang adalah K-40 disusul Pb-212 dan Ac-228. Kondisi udara tersebut dapat berubah sewaktu-waktu khususnya bila ada kegagalan operasi, oleh sebab itu pengecekan jenis radionuklida dalam daerah kerja harus secara rutin dilakukan dan khususnya bila sedang dalam proses pemotongan bahan bakar bekas. Sementara ini dapat dikatakan bahwa sebagai sumber radiasi interna dalam pengujian bahan bakar bekas utamanya berasal dari alam. Tetapi radionuklida lain non hasil fisi bahan bakar kemungkinan dapat juga masuk melalui prefilter dari udara luar, mengingat lokasi fasilitas ini berdekatan dengan fasilitas lain yang kemungkinan dapat melepaskan radionuklida hasil fisi non bahan bakar^[7]

Tinjauan dari sisi radiotoksitas dalam kondisi operasi normal selama ini yaitu hanya ada radionuklida alam termasuk tingkat radiotoksitas tinggi untuk Pb-212 dan Ac-228 sedangkan untuk yang lain yaitu Pb-214, Ti-208 dan Bi-214 tidak termasuk dalam kategori beracun⁽³⁾. Tetapi bila terjadi kegagalan operasi maka ada kemungkinan beberapa radionuklida yang mempunyai tingkat toksitas beragam, dari tingkat sangat tinggi sampai dengan tingkat rendah masuk dalam daerah kerja dan berpotensi sebagai sumber radiasi interna bila terhirup.

Hasil penelitian tentang distribusi aerosol di lingkungan BTDUPI untuk daerah kerja yang memiliki potensi cukup tinggi tingkat kontaminasi udaranya diperoleh hasil^[8] sebagai berikut:

1. Semua partikel dalam daerah kerja maupun di luar daerah kerja/instalasi berdiameter < 0,5 μm , oleh sebab itu satuan yang digunakan adalah AMTD.
2. Diameter partikel di daerah perawatan (*service area*) sebesar 11,7 nanometer AMTD.
3. Diameter partikel di daerah operasi dan sebesar 350 nanometer AMTD

Atas dasar tinjauan distribusi aerosol diatas maka daerah yang mempunyai resiko tingkat kontaminasi paling tinggi adalah daerah perawatan, daerah ini merupakan bagian zona III dengan tekanan negatif lebih rendah terhadap zona I. Dengan demikian maka resiko pekerja menghirup debu radioaktif paling tinggi di daerah perawatan. Menurut prosentase pengendapan partikel dalam sistem pernapasan dalam setiap bagian untuk diameter partikel antara 0,001 μm sampai dengan 100 μm ^(4,5) dan atas dasar ukuran aerosol yang semuanya < 0,5 μm kemungkinan pengendapan tertinggi di daerah AI sekitar 95% untuk ukuran partikel 11,7 nm dan sekitar 12% untuk ukuran 350 nm. Pengendapan terendah dalam daerah BB antara 1% s/d 3%. Untuk daerah bb, ET1 dan ET2 berkisar antara 3% s/d 10%. Menurut pustaka⁽⁵⁾, sebagai pembanding untuk orang dewasa dengan kecepatan bernapas 1,2 m³/jam total fraksi terdeposisi dalam tubuh untuk partikel ukuran 0,01 μm dan 0,35 μm masing-masing sebesar 8,8 x 10⁻¹ dan 2,9 x 10⁻¹

Dengan demikian maka perlu diwaspadai adanya radionuklida Pb-212 dan Ac-228, walaupun tingkat radioaktivitasnya dalam daerah kerja rendah⁽⁸⁾ namun tingkat toksitasnya cukup tinggi. Daerah kerja dengan ukuran aerosol terkecil yaitu 11,7 nm hanya di daerah kerja yang jarang digunakan karena daerah perawatan yang berarti kemungkinan adanya penghisapan aerosol radioaktif oleh pekerja juga relatif rendah.

SIMPULAN

Dari hasil analisis tersebut maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Dalam kondisi normal tanpa ada kegagalan salah satu sistem khususnya VAC, sumber radiasi interna bagi para pekerja di IRM selama ini utamanya berasal dari radionuklida alam.

2. Dalam hal ada kegagalan operasi maka perlu dilakukan pengecekan segera mungkin mengingat ada berbagai radionuklida hasil fisi dari bahan bakar pasca iradiasi dengan tingkat radiotoksitas beragam.
3. Dalam operasi normal radionuklida yang perlu diwaspadai adalah sifat racunnya khususnya untuk Pb-212 dan Ac-228 yang toksisitasnya tergolong tinggi.
4. Pengendapan tertinggi untuk ukuran partikel 11,7 nm dan 350 nm di daerah Al yaitu daerah ujung saluran pernapasan ke paru-paru.

PUSTAKA

- [1]. PSAR - IRM, GCNF Interatom "General Description".
- [2]. Australian Standard 2243.4 - 1986, "Safety in Laboratories - Part 4", Standard Association of Australia.
- [3]. BATAN, "Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi", SK. No.PN 03/160/DJ/89, Badan Tenaga Atom Nasional, Jakarta 1989.
- [4]. ICRP, "Publication 68"
- [5]. ICRP, "Publication 66, Annals of the ICRP, Human Respiratory tract Model for radiological Protection"
- [6]. INDRO YUWONO, "Penentuan distribusi Aerosol Di Fasilitas Pusat Elemen Bakar Nuklir", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir", Yogyakarta 8 - 10 Juli 1997. ISSN 0216-3128.
- [7]. BUDI PRAYITNO DKK, "Analisis Radionuklida Udara Masuk Sistem Ventilasi Di IRM", Prosiding presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir IV, PEBN-BATAN, Jakarta 1-2 Desember 1998.
- [8]. INDRO YUWONO, "Evaluasi Keselamatan Kerja IRM Atas Dasar Data Lapangan Dan Rancang Bangun", Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Jakarta 10 - 11 Nopember 1998.

TANYA JAWAB

Riau Amarino

- Berapa batasan efisiensi HEPA FILTER yang diizinkan ?

- Apakah HEPA Filter dapat diregenerasi lagi ?

Indro Yuwono

- Secara umum bila penyimpangan $\pm 5 - 10\%$ harus diganti.
- Filter yang telah jenuh tidak dapat di regenerasi, tetapi harus dibuang/ diganti.

Eric Johneri

- Daerah kerja mana yang potensial sebagai sumber dari terjadinya kebocoran, kontaminasi yang akan berdampak kepada pekerja ?
- Apa indikator agar pekerja segera mengetahui adanya kebocoran kontaminasi dan lain lain sebelum alarm, sehingga radiasi tidak sampai terhirup oleh pekerja ?
- Mohon disosialisasikan.

Indro Yuwono

- Di IRM urutan daerah paling potensial adanya sumber radiasi interna sesuai urutan zona, yaitu tertinggi zona IV, Zona III, Zona II dan Zona I. Daerah zona III daerah perawatan.
- Indikator langsung tidak ada, jadi bila ada alarm untuk gas buang/ *stack monitor*, maka pekerja harus diberitahu oleh petugas (BKK).

Siti Amini

- Mengapa dianalisis sumber radiasi interna saja, apakah sumber-sumber radiasi lain yang merupakan eksternal juga tidak perlu dianalisis untuk keselamatan pekerja ?
- Apa yang dapat dideteksi oleh alat aerosol di IRM/ BTDUPI ?
- Bagaimana partikel yang berukuran $<0,5 \mu\text{m}$ itu dapat ditahan oleh HEPA Filter ? Jadi bagaimana dengan hasil pengamatan yang menunjukkan ukuran $11,7 \text{ nm} \approx 0,011 \mu\text{m}$ bisa didapat ?

Indro Yuwono

- Sumber radiasi lain (eksterna) perlu, tetapi untuk sumber radiasi interna yang paling berbahaya adalah α karena daya rusaknya tinggi.
- Ketelitian cukup tinggi untuk α , sedangkan dengan alat survey meter yang ada radiasi lain dapat terdeteksi cukup teliti (γ).
- Efisiensi HEPA Filter adalah 99,97% untuk partikel $70,3 \mu\text{m}$, jadi dibawah $0,3 \mu\text{m}$ yaitu $0,011 \mu\text{m}$ tetap lolos.