

EVALUASI KESELAMATAN KERJA IRM ATAS DASAR DATA LAPANGAN DAN RANCANG BANGUN

Indro Yuwono
Pusat Elemen Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI KESELAMATAN KERJA IRM ATAS DASAR DATA LAPANGAN DAN RANCANG BANGUN. Telah dilakukan evaluasi keselamatan kerja di Instalasi Radiometalurgi (IRM) yang meliputi keselamatan radiasi, keselamatan umum dan sistem *Ventilation and Air Condition* (VAC). Desain dasar sistem keselamatan IRM dalam laporan analisis keselamatan awal didasarkan pada perhitungan. Dari hasil evaluasi menunjukkan bahwa ada beberapa bagian yang tidak sesuai antara data lapangan dan desain dasar sistem keselamatan, tetapi masih memenuhi ketentuan keselamatan yang berlaku di BATAN. Penerimaan dosis radiasi eksterna sebesar 13,44% dari Nilai Batas Dosis (NBD), paparan radiasi di daerah operasi sebesar 0,004 mSv/jam (daerah non aktif), tingkat kontaminasi udara sebesar 18,26% dari batasan dan 0,32% untuk kontaminasi permukaan kerja. Pola aliran udara sesuai ketentuan BATAN tetapi untuk harga tekanan negatif berbeda dengan desain dasar. Pelepasan gas buang selama beroperasinya IRM hanya sebesar 1,5 bagian per juta dari batasan baku mutu lingkungan.

ABSTRACT

WORKING SAFETY EVALUATION OF RMI BASED ON THE FIELD DATA AND DESIGN. Working safety evaluation of Radiometalurgy Instalation (IRM) consist of radiation safety, general safety and VAC system have been done. Safety basic design of RMI on the preliminary safety analysis report was based on the calculation. The results of the field data evaluation showed that there were some discrepancies between the safety basic design and field data, but the figures were still within the safety range of BATAN regulation. External radiation dose received was 13.44% from the limit dose. Dose rate in the operation area was 0.004 mSv/h (non active area), whilst air contamination and surface contamination were 18.26% and 0.32% from the limitation respectively. Air flow system followed the BATAN regulation but the negative pressure value was not in agreement with the basic design. Air release concentration was only 1.5 ppm from the environmental standard limit.

PENDAHULUAN

Instalasi Radiometalurgi (IRM) dirancang untuk melakukan kegiatan penelitian elemen bakar bekas pasca iradiasi. Disain dasar rancang bangun dan sistem keselamatan oleh GCNF Germany, dikembangkan dan dikonstruksi oleh kontraktor lokal. Sesuai dengan ketentuan dan kondisi di Indonesia kemungkinan dijumpai beberapa revisi sistem keselamatan baik yang menyangkut keselamatan umum maupun keselamatan radiasi.

Semua kegiatan yang menyangkut elemen bakar bekas atau bahan lain yang telah diiradiasi dilakukan didalam bilik panas (*hot cell*) yang semuanya berjumlah 12 buah terdiri dari 3 bilik beton berat dan 9 bilik baja. IRM dirancang mampu menangani elemen bakar bekas dalam satu *batch* kegiatan adalah 6 elemen bakar bekas tipe MTR-30

atau 1 elemen bakar bekas tipe Biblis A, setara dengan sekitar 1 juta Curie.^[1] Disamping potensi radiasi yang cukup tinggi di IRM juga terdapat potensi bahaya lain yang bersifat non radiasi yaitu adanya bahan kimia dan bahaya kebakaran. Oleh sebab itu gedung dan sistem peralatan dukung keselamatan disesuaikan dengan potensi bahaya yang ada tersebut. Jenis dan tebal dinding sel panas yang terbuat dari beton berat maupun baja SS telah diperhitungkan, demikian halnya dengan bahan-bahan yang terkait dengan potensi bahaya kebakaran.

Sistem pendukung lain yang cukup penting adalah sistem Ventilasi atau dikenal dengan *Ventilation and Air Conditioning system* (VAC). Berbeda dengan sistem VAC umum, dalam sistem VAC instalasi nuklir selain diperhitungkan suhu udara juga harus diperhitungkan pola aliran udara, kelembaban udara dan pola buang gas ke

lingkungan. Kondisi ini selain mempengaruhi kegiatan proses pengujian juga merupakan persyaratan dalam kaitannya dengan penyebaran zat radioaktif ke lingkungan kerja atau lingkungan sekitar instalasi serta sistem pencegahan kebakaran.

Bahasan dalam tinjauan ini mengacu pada data-data fisik administrasi yang ada selama konstruksi dan pada data hasil pantauan penerimaan dosis radiasi pekerja, paparan daerah kerja serta pelepasan radionuklida ke lingkungan serta data lain yang terkait dengan keselamatan. Data-data diperoleh dari pemantauan rutin yang dilakukan di lingkungan IRM. Dari hasil evaluasi akan diketahui sejauh mana penyimpangan antara data desain dan data lapangan serta pemenuhan terhadap ketentuan di BATAN.

DISAIN DASAR KESELAMATAN.

Dalam menelaah desain dasar IRM akan digolongkan menjadi tiga bagian tinjauan sistem keselamatan yaitu :

1. Keselamatan Radiasi
2. Keselamatan non radiasi atau keselamatan umum
3. Sistem ventilasi (VAC).

Keselamatan Radiasi.

Keselamatan radiasi ditujukan untuk menekan serendah mungkin adanya bahaya radiasi karena kegiatan penggunaan bahan radioaktif, seperti direkomendasikan oleh *International Commission of Radiation Protection (ICRP)*. Tiga hal yang berkaitan dengan keselamatan radiasi yang akan dibahas ialah :

- a. Keselamatan pekerja radiasi yang berkaitan dengan penerimaan dosis radiasi.
- b. Keselamatan daerah kerja, meliputi udara dan tempat kerja.
- c. Keselamatan lingkungan berkaitan dengan pelepasan gas buang.

Dalam keselamatan pekerja radiasi, pembatasan dalam desain dasar dilakukan dengan pembagian daerah kerja atau *zoning*, ketahanan perisai radiasi/ *shielding* bilik panas dengan dukungan sistem VAC. Spesifikasi dinding bilik panas beton adalah, bahan cor beton berat dengan densitas $3,6 \text{ g/cm}^3$, tebal dinding sisi operasional 120 cm, tebal langit-langit 95 cm dan tebal lantai 100 cm.^[1] Sedangkan untuk bilik baja digunakan bahan SS dengan densitas $7,8 \text{ g/cm}^3$. Batasan radiasi dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perkiraan paparan radiasi dan batasan daerah kerja di IRM.

Daerah	Zona	Paparan (D)mr/j	Batasan		
			Kontaminasi $\mu\text{Ci} / \text{cm}^2$		
			Alat	Pakaian	Kulit
Non aktif	Zona I				
Radiasi rendah Bebas kontm'si	Zona II	$0,75 \leq D \leq 2,5$	$\leq 10^{-5} (\alpha)$ $\leq 10^{-4} (\beta)$	$\leq 10^{-5} (\alpha)$ $\leq 10^{-4} (\beta)$	$< 10^{-6} (\beta)$ $\leq 10^{-5} (\beta)$
Radiasi sedang Konst<1/10 MPC	Zona III	$2,5 D \leq 300$.	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$	$10^{-5} \sim 10^{-4} (\alpha)$ $10^{-4} \sim 10^{-3} (\beta)$
Radiasi tinggi Konst>1/10 MPC	Zona IV	$D > 300$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$	$\geq 10^{-4} (\alpha)$ $\geq 10^{-3} (\beta)$

Perkiraan emisi gas buang ke lingkungan disampaikan dalam Tabel 2

Keselamatan umum.

Disain dasar keselamatan umum diutamakan terhadap bahaya kebakaran atau bahaya api. Klas api yang mungkin timbul di IRM meliputi :

1. Klas A, kertas, papan kertas, kayu, plastik (PVC), polietilin, karet, tekstil.

1. Klas B, kerosin, tributil fospat, aseton, etanal, minyak roll
2. Klas C, metana, propana, asetilin, hidrogen.
3. Klas D, uranium, aluminium, kalsium

Sebagai sumber api diidentifikasi antara lain, hubungan pendek, *electrostatical*

charging, kontak dengan hot area, lampu, pembakaran sendiri, gesekan mekanik. Dalam sistem keselamatan kebakaran atau

bahaya api di IRM diterapkan sistem perlindungan api pasif dan sistem perlindungan api aktif.

Tabel 2. Pelepasan Radionuklida tahunan ke lingkungan dari IRM

Radionuklida	Aktivitas spesifik	Total pelepasan
H 3	2.48 E + 10	7.00 E + 09
Kr 85	3.85 E + 11	1.20 E + 13
Sr 90	3.01 E + 12	1.20 E + 05
Y 90	3.01 E + 12	1.26 E + 05
Zr 95	1.88 E + 13	7.90 E + 05
Nb 95	3.24 E + 13	1.36 E + 06
Ru 106	2.18 E + 13	9.16 E + 05
Rh 106	2.18 E + 13	9.16 E + 05
Ag I10M	1.87 E + 11	7.85 E + 03
Sb 125	6.25 E + 11	2.63 E + 04
Te 125M	1.47 E + 11	6.17 E + 03
Te 127	3.12 E + 11	1.31 E + 04
Te 127 M	3.19 E + 11	1.34 E + 04
I 131	6.22 E + 09	4.50 E + 08
Xe 131 M	3.40 E + 09	1.43 E + 02
Cs 134	7.59 E + 12	3.19 E + 05
Cs 137	4.62 E + 12	1.94 E + 05
Ba 137 M	4.37 E + 12	1.84 E + 05
Ce 144	3.55 E + 13	1.49 E + 06
Pr 144	3.55 E + 13	1.49 E + 06
Eu 154	5.51 E + 11	2.31 E + 04
Eu 155	3.51 E + 11	1.47 E + 04
U 238	1.17 E + 07	4.91 E -01
Pu 238	1.37 E + 11	5.75 E + 03
Pu 239	1.333E + 10	5.59 E + 02
Pu 240	2.10 E + 10	8.82 E + 02
Pu 242	1.05 E + 08	4.41 E + 00
Am 241	9.47 E + 09	3.98 E + 02
Am 243	1.28 E + 09	5.38 E + 01
Cm 242	1.65 E + 12	6.93 E + 04
Cm 243	1.40 E + 09	5.88E + 01
Cm 244	1.90 E + 11	7.98 E + 03

Sistem perlindungan api pasif.

Sistem perlindungan api pasif dimaksudkan untuk mengurangi kemungkinan timbulnya api dan menghindari pertumbuhan api meliputi gedung, alat-alat mekanik dan komponen elektrik. Perlindungan terhadap api secara pasif dapat dibagi menjadi 3 bagian utama yaitu :

0. Sistem konstruksi
1. Sistem elektrik
2. Sistem ventilasi.

Dalam konstruksi harus dijamin adanya stabilitas gedung berbasis api misal dengan bahan tahan api. Beberapa elemen didisain dengan bahan tahan api, adanya penghalang api, penutup dalam sejauh mungkin digunakan bahan tak terbakar.

Demikian halnya dengan instalasi listrik dan mekaniknya

Daerah api merupakan bagian dari bangunan dengan ketahanan api tertentu, digunakan bahan ketahanan api F 90 (DIN) untuk saluran pipa udara buang. Batasan yang digunakan dalam pembagian daerah api adalah sebagai berikut :

- *Grouping* ruangan yang didefinisikan sebagai daerah api bersamaan dengan konstruksi.
- Mempertimbangkan rute keluar.
- Rute keluar dibatasi dengan bahan tahan api.

Sistem elektrik, kanal dan *ducting* diusahakan dibuat dari bahan tahan api, pembagian kanal umumnya maksimal setiap 8 meter.

Penentuan daerah bebas rokok dekat peralatan listrik dan kabel perlu dipertimbangkan. Khusus ruang baterai harus dilengkapi dengan sistem ventilasi khusus untuk menghindari kelebihan gas. Peralatan elektrik lain yang termasuk perlindungan api antara lain

- Sistem pentanahan dan penyangga.
- Kabel yang digunakan hanya sepanjang yang diperlukan.
- Kelengkapan dan kesesuaian sekring pada tiap peralatan.
- Kelengkapan sistem penangkal petir yang benar.

Sistem ventilasi, karena sistem konstruksi yang tertutup dan sistem ventilasi tersentral maka peralatan/kelengkapan berikut dapat berfungsi sebagai perlindungan api preventif.

1. Daerah api sebaiknya terpisah dengan sistem VAC yang penting dengan sambungan tahan api.
2. Daerah kerja dengan penghunian tetap dilengkapi dengan pasok udara segar.
3. Pemisahan udara masuk (*supply*) dan udara keluar (*exhaust*) tak perlu dipisah.

Sistem perlindungan api aktif

Dalam sistem perlindungan api aktif dapat digolongkan menjadi 3 bagian yaitu :

1. Sistem pendeteksian (*the fire detection*).
2. Sistem pencatatan (*the fire recording*).
3. Sistem alat/sarana pemadam api (*the fire fighting*).

Sistem pendeteksian api umumnya terdiri dari 2 (dua) macam sistem yaitu otomatis dan manual (*break glass*). Adanya api dapat diketahui secara dini dengan adanya alarm kebakaran yang terhubung ke tempat supervisor. Penempatan sistem manual diatur sehingga dengan mudah dapat dijangkau oleh pekerja. Detektor api memudahkan pendeteksian secara cepat lokasi kebakaran. Dalam masing-masing grup mungkin digunakan jenis detektor api yang berbeda tergantung titik api sesuai fenomena yang terjadi. Ada tiga jenis detektor yang dapat digunakan yaitu :

1. Detektor asap optik
2. Thermo diferensial detektor
3. Detektor api (*flame detector*)

Sarana pemadam api berupa pemadam kebakaran dipersiapkan untuk jenis yang mudah bergerak. Lokasi penempatan pemadam kebakaran secara manual ditangga, koridor atau di daerah kerja harus diletakkan pada daerah /titik rawan di sepanjang jalur api. Agar dapat melakukan pemadam yang efektif maka penyediaan dan pemakaian alat pemadam kebakaran harus sesuai dengan bahan yang akan dipadamkan. Alat pemadam kebakaran lain adalah tersedianya *hydrant* di luar dan di dalam instalasi khusus pada bagian perkantoran.

Khusus untuk sistem pemadam kebakaran di dalam bilik panas disediakan deretan tabung pemadam gas CO₂ yang bekerja secara otomatis bila tombol ditekan dan dihubungkan langsung ke dalam bilik panas.

Sistem Ventilasi

Sistem ventilasi di IRM dimaksudkan untuk menekan serendah mungkin terjadinya penyebaran debu/partikel udara dari zona radiasi tinggi ke radiasi rendah. Peralatan sistem ventilasi yang digunakan memiliki redundansi 2 x 100 %. Pemasukan udara dengan *blower*. Apabila terjadi kegagalan/darurat maka salah satunya akan dioperasikan.

Sistem ventilasi di IRM terdiri dari 2 sistem yang terpisah yaitu sistem ventilasi untuk perkantoran dan sistem ventilasi untuk laboratorium.

Sistem ventilasi untuk perkantoran lebih sederhana dibandingkan untuk laboratorium. Udara bersih didistribusikan ke tiap ruangan kantor melalui pengatur volume dan termostat. Penurunan suhu udara (yang berasal dari udara luar) dengani koil pendingin berisi air pada suhu 9 - 10°C (*chilled water*). Udara masuk ke perkantoran juga malayani suplai udara ke *cold laboratory*. Sistem ventilasi di laboratorium terdiri dari :

- sistem udara masuk
- sistem udara keluar dari lemari asap
- sistem udara keluar dari ruang laboratorium
- sistem udara keluar dari bilik panas

Udara masuk dan keluar instalasi terlebih dahulu selalu dilewatkan filter, untuk udara masuk melalui *pre-filter* sedangkan udara keluar dilewatkan *HEPA filter*. Sistem udara keluar dari ruang laboratorium dipisahkan menjadi 2 saluran, masing-masing dari zona I dan zona II dan III. Udara dari zona I tanpa lewat sistem filter, sedangkan yang berasal dari zona II & III dilewatkan pada suatu grup filter sebelum dibuang ke cerobong.

Sistem udara keluar dari bilik panas dibuat terpisah dari sistem udara keluar lain, udara keluar melewati sistem filter. Komposisi filter terdiri dari 2 filter operasi dan 1 filter cadangan. Dengan 3 filter ini sistem ventilasi bilik panas dapat berfungsi terus, walaupun saat penggantian filter operasi dengan filter cadangan. Semua udara yang keluar baik dari lemari asap, laboratorium maupun bilik panas disatukan pada satu saluran buang dan dilepas ke lingkungan melalui cerobong setinggi 60 m.

Pergantian udara didesain berdasarkan standar IAEA (*Safety series* No. 30 tahun 1981), untuk :

Zona II	: 5 - 10 kali / jam
Zona III	: lebih dari 5 kali / jam
Zona IV	: 10 - 30 kali / jam

Aliran udara mengalir dari daerah yang lebih bersih ke daerah dengan resiko kontaminasi lebih tinggi, perbedaan tekanan antara ruangan di IRM terperinci namun secara umum dapat dibagi menjadi 4 daerah tekanan negatif yaitu:

- zona I dengan tekanan	: 0 - 50 Pa
- zona II dengan tekanan	: 70 - 100 Pa
- zona III dengan tekanan	: 120 - 150 Pa
- zona IV dengan tekanan	: diatas 250 Pa

Untuk memperoleh perbedaan tekanan masing-masing daerah digunakan *Automatic Control Damper*. Sedangkan suhu dan humiditas udara tergantung pada fungsi masing-masing ruang. Secara garis besar tingkat suhu dan kelembaban udara pada ruangan dikelompokkan sebagai berikut :

- Tempat kerja permanen, laboratorium dan ruang kontrol 22° - 25°C, 45% - 65 %RH

- Ruang-ruang operasional / mesin-mesin listrik : 20° - 35°C, maks. 65 % RH3.
- Bilik baja : maks 40°C, maks. 60% RH
- Bilik beton : maks 60°C, maks. 60 %RH

TATA CARA PELAKSANAAN

Dalam kajian atau evaluasi sistem keselamatan kerja secara umum baik keselamatan radiasi maupun non radiasi dilakukan tahapan - tahapan kegiatan sebagai berikut :

- Inventarisasi sistem keselamatan atas dasar disain dasar, *preliminary safety analysis report* IRM meliputi keselamatan radiasi, non radiasi dan sistem VAC.
- Inventarisasi dan analisis sistem keselamatan dari Laporan Analisis Keselamatan (LAK) IRM Rev.3
- Inventarisasi dan pengambilan data uji lapangan selama konstruksi
- Analisis hasil pengujian bilik panas beton berat secara *gridding*
- Pengambilan data keselamatan radiasi untuk :
 - Personil dengan TLD, analisis urin dan WBC
 - Paparan radiasi daerah kerja sesuai ketentuan dalam LAK dengan *survey meter*.
 - Tingkat kontaminasi udara dengan pencuplik udara dalam daerah kerja.
 - Tingkat kontaminasi permukaan kerja dengan cara tes usap.
 - Distribusi aerosol dalam daerah kerja dan luar instalasi dengan baterai difusi untuk mengetahui kemungkinan adanya paparan radiasi interna karena inhalasi.
 - Pemantauan dan analisis pelepasan gas buang ke lingkungan melalui cerobong.
- Pengamatan lapangan berkenaan dengan sistem keselamatan kebakaran.
- Pengamatan berkenaan dengan sistem keselamatan VAC daerah operasi maupun bilik panas.

Dari data keselamatan dan kondisi lapangan yang diperoleh tersebut kemudian dikaji dan dianalisis atas dasar sistem

keselamatan dalam rancang bangun atau disain dasar IRM dengan mengacu pada ketentuan keselamatan yang berlaku di BATAN.

HASIL PENGAMATAN DAN BAHASAN

Hasil pengamatan dan pembahasan digolongkan dalam tiga bagian yaitu :

1. Keselamatan radiasi
2. Keselamatan umum, khususnya sistem kebakaran
3. Keselamatan sarana dukung yaitu sistem VAC

Keselamatan Radiasi

Untuk mengetahui ketahanan beton berat terhadap radiasi di bilik panas dilakukan pengujian dengan *gridding*. Pengujian dilakukan dengan sumber Co-60 sebesar 58 Ci. Dari hasil pengujian ini terdapat bagian yang kurang homogen dalam pengecoran, sehingga ada semacam sabuk/*belt*. Dengan analisis lebih lanjut diketahui bahwa kondisi ini tidak membahayakan. Disamping letaknya 1 m di atas daerah operasi juga paparan radiasi di daerah ini secara teoritis hanya sekitar 0,0155 mSv/jam untuk sumber radioaktif sebesar 1.000.000 Ci.^[2]

Secara praktis belum diketahui karena dianggap saat ini aktivitas maksimum bahan bakar bekas yang pernah ada dalam bilik panas sebesar 37.000 Ci dan ini tidak menyebabkan kenaikan paparan radiasi yang berarti di depan bilik panas tersebut.

Dari hasil pantauan yang meliputi penerimaan dosis radiasi dengan TLD, Analisis Uranium dan WBC diperoleh hasil :^[3]

1. Dosis ekivalen seluruh tubuh (DEST) tertinggi = 1,68 mSv.
2. Untuk hasil dengan analisis urine dan WBC tidak terdeteksi adanya radio nuklida dalam tubuh.

Hasil tertinggi pantauan daerah kerja yang meliputi tingkat radioaktivitas udara, tingkat kontaminasi radioaktif permukaan kerja / lantai dan paparan radiasi adalah :^[4]

1. Tingkat radioaktivitas udara
: 3,6535 Bq / m³
2. Permukaan kerja
: 11,9919 Bq / m²
3. Paparan radiasi
: 0,0040 mSv / jam

Dari hasil pengukuran distribusi aerosol di lingkungan IRM di daerah kerja / ruangan yang dinilai berpotensi mempunyai tingkat kontaminasi udara tertinggi serta di luar gedung instalasi, diperoleh hasil :^[5]

1. Diameter partikel semua < 0,5 µm maka digunakan satuan AMTD (*Activity Median Thermodynamic Diameter*)
1. Diameter di R. 143 adalah 11,7 nm (AMTD).
2. Diameter di R.140 adalah 350 nm (AMTD).
1. Diameter di luar instalasi adalah 350 nm (AMTD).

Aktivitas tertinggi dalam gas buang sejak adanya zat radioaktif di IRM (bilik panas) disampaikan dalam Tabel 3.^[6]

Tabel 3. Data radioaktivitas udara tertinggi dari cerobong udara buang IRM

No.	Tahun	Aktivitas (α) (10 ⁻¹² Ci/m ³)	Aktivitas (β) (10 ⁻¹² Ci/m ³)	Keterangan
1.	1993	30,30	77,83	1 buah pelat U ₃ O ₈
2.	1994	38,35	33,02	1 buah pelat U ₃ O ₈ 1 buah pelat U ₃ Si ₂
3.	1995	121,90	229,50	target Zr / U / AL target Zr / U / UO ₂
4.	1996	210,00	300,00	target Zr / U / mg target Zr / U / Zr target Zr / Ni - U / SS Zr / U / SS Zr / CU - U - Cu / SS Zr / Ni - U - Ni / AL

Dari data kondisi lapangan tersebut diatas dapat diketahui bahwa secara umum sistem keselamatan radiasi di instalasi ini masih memenuhi ketentuan yang berlaku di BATAN maupun yang direkomendasikan oleh ICRP.

Penerimaan dosis radiasi eksterna TLD tercatat sebesar 1,68 mSv untuk periode 3 bulanan dengan demikian penerimaan dosis radiasi pertahun sekitar 6,72 mSv, harga ini baru mencapai sekitar 13,44 % dari batasan BATAN dan sekitar 33,6 % dari batasan ICRP-60. Paparan radiasi didaerah operasi yang direkomendasikan sebesar 50mSv/tahun (BATAN) dan 20 mSv/tahun ICRP-60. Sedangkan untuk dosis radiasi interna dan dosis terikat (H_E) tidak terdeteksi.

Untuk tingkat paparan radiasi tercatat sebesar 0,0040 mSv/jam ini berarti masuk dalam daerah kerja non aktif yaitu masih dibawah = 0,0075 mSv/j.

Demikian halnya untuk keselamatan radiasi yang lain harganya hanya mencapai sekitar 18,26 % untuk tingkat kontaminasi udara dan 0,32 % untuk permukaan daerah kerja terhadap batasan yang berlaku yaitu 20 Bq/m³ udara dan 10⁻⁵ Ci/m² (α) untuk permukaan.^[7]

Jika ditinjau dari distribusi aerosol di lingkungan bangunan IRM ternyata semua partikel berdiameter 0,5 μ m. AMTD, kondisi ini menyatakan bahan aerosol tersebut bukan berasal dari kegiatan proses tetapi dari alam / luar instalasi. Diameter terkecil di R. 143 yaitu ruang perawatan/perbaikan (*servis area*), kondisi ini menunjukkan bahwa tingkat kontaminasi paling tinggi diruang R. 143 dan ini sesuai dengan pola aliran udara yang di disain.

Data pelepasan gas buang / udara ke lingkungan sejak tahun 1993 s/d 1996 tertinggi adalah tahun 1996 yaitu 210x10⁻¹² Ci/m³ untuk α dan 300 x10⁻¹² Ci /m³ untuk β sesuai dengan aktivitas yang dilakukan. Mengacu pada batasan kontaminasi udara sebesar 2 Bq/m³ harga ini masih dibawahnya dan hanya mencapai sekitar 0,00095 bpi.(bagian per juta). Dan bila dianggap campuran radionuklida maka terdapat batasan hanya mencapai 1,5 bpi % saja terhadap batasan baku mutu lingkungan.^[8]

Masih rendahnya data yang ditunjukkan berkenaan dengan keselamatan radiasi kemungkinan juga disebabkan tingkat radioaktivitas bahan radioaktif yang ada di IRM masih dibawah tingkat radioaktivitas bahan radioaktif yang digunakan sebagai dasar perhitungan sistem keselamatan.

Keselamatan umum.

Keselamatan non radiasi ditekankan pada keselamatan kebakaran dan sekilas tentang sistem penyimpanan bahan kimia, konfigurasi sistem pemadam kebakaran di IRM disampaikan dalam **Gambar 1**.

Dari tinjauan perlindungan api pasif dan perlindungan api aktif, kondisi di lapangan secara umum masih berpegang pada dasar sistem keselamatan yang dirancang. Jumlah tabung pemadam terpasang sebanyak 170 buah terdiri dari 155 buah tipe PG 12 (serbuk) dan 15 buah tipe KG (karbon).^[9] Kondisi ini dari segi jumlah telah memadai.^[10,11] Pemadaman api selain dilakukan dengan tabung pemadam juga disediakan hydrant. Di dalam instalasi terdapat 2 buah hydrant, satu posisi kurang menguntungkan. Kesulitan yang mungkin timbul adalah untuk pemadam kebakaran dalam bilik panas, disamping masalah dekontaminasi juga masalah pengisian ulang tabung pemadamnya.

Sistem panel dan alarm menjadi satu, ada dua panel keduanya terletak di lantai 1 dan dibagi menjadi dua bagian. Bila terjadi kebakaran yang terdeteksi oleh salah satu detektor diteruskan ke panel. Lampu sinyal menyala menunjukkan zona/grup ruang mana yang terjadi kebakaran disertai alarm kecil dan relatif perlahan. Alarm dapat diteruskan/terdengar ke seluruh gedung apabila dibunyikan dari ruang kontrol yang terletak di lantai 3 dan bekerja secara manual. Kondisi semacam ini kurang menguntungkan karena semestinya alarm secara otomatis berbunyi dan terdengar keseluruh gedung. Dalam hal ini maka perubahan berupa sentralisasi sistem alarm dan paging perlu dilakukan.

Dari sisi keselamatan umum yang berkenaan dengan lemari asam dan penyimpanan bahan kimia / gudang ada beberapa hal yang perlu mendapat perhatian antara lain :

- a) Disain gedung kimia kurang memadai, sistem ventilasi mestinya terpisah.
- b) Tekanan negatif lemari asam kurang memenuhi persyaratan.

SISTEM VAC.

Sistem VAC di IRM disamping harus dapat mengatur beda tekanan antara zona daerah kerja dengan harga tertentu juga berfungsi mengatur suhu, humiditas serta penutupan otomatis oleh *dampers* bila terjadi kebakaran. Pada kondisi lapangan ditemui hal-hal berikut:

1. Beda tekanan tidak sesuai dengan disain dan kecenderungannya selalu lebih besar misalnya dapat mencapai sekitar 400 Pa untuk seharusnya 250 Pa. Beda tekanan yang terlalu besar antara luar dan dalam instalasi menyebabkan sulitnya membuka pintu masuk laboratorium.
1. Humiditas tidak tercapai seperti dipersyaratkan kecenderungan menunjukan selalu lebih besar dari yang dipersyaratkan.
1. *Dampers* tidak berfungsi secara otomatis.

Pola pertukaran udara atau *air exchange rate* kemungkinan besar tidak terpenuhi seperti desain, namun didalam bilik panas minimal terjadi pola pertukaran udara 10 kali per jam dan hal ini dapat diterima. Persoalan yang perlu diperhatikan dalam pertukaran udara adalah apakah pertukaran terjadi keseluruhan ruangan atau hanya terjadi semacam *channeling*

Sistem VAC tidak dilengkapi dengan redudansi, dengan demikian apabila suplai listrik utama dari PLN mati atau gangguan ketidakstabilan *voltage* maka sistem VAC akan mati. Dalam kondisi ini berarti persyaratan keselamatan dalam instalasi nuklir tak terpenuhi. Dari sisi pola alir udara telah terpenuhi yaitu dari daerah tingkat kontaminasi rendah ke tingkat kontaminasi tinggi, tetapi karena beda tekanan yang terlalu besar aliran udara ke dalam instalasi terlalu besar dan berakibat pada sistem *interlock* yang ada.

Beberapa faktor yang menyebabkan tidak terpenuhinya syarat dalam disain dasar antara lain kemungkinannya adalah:

1. Kurangnya pengalaman pelaksana lokal dalam menjabarkan disain dasar.

1. Tidak berfungsinya *dampers* yang semestinya berfungsi secara otomatis dan dapat diatur
1. Tingkat humiditas udara luar yang tinggi sehingga perlu peralatan tambahan agar dapat mencapai tingkat humiditas yang diinginkan.
1. Kurang dilaksanakan secara konsekuen program jaminan kualitas.

SIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian pembahasan sistem keselamatan kerja di IRM diperoleh kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Secara umum sistem keselamatan radiasi di IRM masih memenuhi batasan yang dipersyaratkan, walaupun ada beberapa bagian yang tidak sesuai dengan desain dasar keselamatan.
2. Dalam sistem keselamatan umum khususnya sistem kebakaran, sistem VAC dan lemari asam masih kekurangan yang perlu pembenahan lebih lanjut.
3. Kemampuan penahanan terhadap radiasi oleh bilik panas secara praktis belum diketahui karena aktivitas maksimum baru mencapai 37.000 Ci, namun secara teori mampu menahan sampai dengan 1.000.000 juta Ci.
4. Dalam pelaksanaan konstruksi instalasi nuklir penempatan jaminan kualitas perlu ditegakkan dengan sungguh-sungguh.

PUSTAKA

- [1]. PSAR - IRM, GCNF Interatom *General Description*.
- [2]. YUWONO, I., *Kemampuan Penahan Radiasi sel Beton IRM Terhadap Elemen Bahan Bakar Bekas*. Seminar teknologi Nuklir, PPTN - Bandung, 1993.
- [3]. PTPLR - BATAN, *Laporan hasil pembacaan TLD, analisis urin dan WBC*
- [4]. YUWONO I., *Analisis Keselamatan Radiasi Di PEBN Dalam Rangka Implementasi Standar ICRP 60*, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III, Jakarta 4-5 Nopember 1997.
- [5]. YUWONO, I., *Penentuan Distribusi Aerosol di Fasilitas Pusat Elemen Bakar Nuklir*, Seminar pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 1997.

- [6]. BUDI P, EKO P, *Evaluasi Aktivitas Radiasi Udara Buang Selama Uji Pasca Iradiasi Di IRM*, Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir III, Jakarta 4-5 Nopember 1997.
- [7]. BATAN, *Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi*, SK Dirjen BATAN No. PN 03/160/DJ/89, Jakarta, 1989.
- [8]. BATAN, *Baku Tingkat Radioaktivitas Di Lingkungan*, SK. Dirjen BATAN No. 293/DJ/VII/1995.
- [9]. GCNF - INTERATOM, *Functional/System description, Building, Fire Fighting System. Radiometalurgy Instalation.*
- [10]. YUWONO I, *Sistem Pencegahan Bahaya kebakaran di Instalasi Nuklir*, Buletin Daur Bahan Bakar Nuklir Urania, No. 6 / tahun II / April 1996.
- [11]. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 02/KPTS/1985 tentang *Ketentuan Pencegahan Dan Penanggulangan Kebakaran Pada Bangunan Gedung.*
- [12]. PEBN - BATAN, *Laporan Analisis Keselamatan IRM*, Rev. 4, 1996

TANYA JAWAB

Sigit Asmara Santa

- Bagaimana evaluasi *fire alarm system*, fungsi sistem dan terutama komponen *smoke detector*-nya yang biasanya berumur ± 5 tahun.
- *Safety design basis* sistem VAC/HVAC dalam instalasi nuklir terutama yang sudah di-*zoning* adalah memerangkap radioaktif yang mengkontaminasi daerah tersebut salah satunya dengan secara otomatis menutup *dampers*-nya. Apakah ada fungsi ini dan bagaimana uji sistemnya dilakukan.

Indro Yuwono

- Evaluasi dilakukan secara rutin yaitu 1 (satu) kali per tahun untuk sistem detektor khususnya *smoke detector/heat detector* dan diganti apabila ada kerusakan.
- *Zoning* dilakukan dengan pengaturan tingkat radiasi dan kontaminasi dengan perbedaan tekanan ruangan. Kondisi ini kurang dipenuhi dalam konstruksinya. *Damper* secara otomatis menutup apabila VAC mati dan ada bahaya kebakaran.

Gatot Suhariyono

- Pola aliran udara sesuai dengan ketentuan BATAN tetapi harga tekanan negatif berbeda dengan disain dasar. Apa saran Bapak agar hal ini dapat ditindaklanjuti dan apa akibatnya apabila tidak sesuai dengan disain dasar.
- Dari kesimpulan ini dinyatakan bahwa pelaksanaan konstruksi instalasi nuklir tidak ditegakkan secara sungguh-sungguh. Kenapa hal ini terjadi, atau hanya karena dana sehingga tidak sesuai rencana BATAN keseluruhan atau sebab lain.

Indro Yuwono

- Dalam ketentuan BATAN tidak disebutkan besar tekanan negatif tetapi pola aliran harus dari daerah kontaminasi rendah ke daerah kontaminasi tinggi dan yang lebih penting tidak menyalahi aturan BATAN.
- Aturan yang kurang ditegakkan adalah program jaminan kualitas. Hal ini disebabkan beberapa faktor antara lain kedisiplinan pelaksanaan dan pengawasan.