

DAFTAR ISI

	hal
BAB I. PENDAHULUAN	1
BAB II. KATEGORI IRADIATOR GAMMA	
A. IRADIATOR GAMMA KATEGORI I	4
B. IRADIATOR GAMMA KATEGORI II	5
C. IRADIATOR GAMMA KATEGORI III	6
D. IRADIATOR GAMMA KATEGORI IV	7
BAB III. PERSYARATAN DESAIN	9
BAB IV. SISTEM KESELAMATAN IRADIATOR GAMMA	9
A. TUJUAN KESELAMATAN RADIASI.....	9
B. FILOSOFI KESELAMATAN RADIASI.....	9
RANGKUMAN	19
LATIHAN SOAL	21
DAFTAR PUSTAKA	23

BAB I

PENDAHULUAN

Sejak tahun 1950 sumber radiasi pengion telah digunakan di dunia kedokteran, industri, dan penelitian. Tercatat sebanyak 160 buah iradiator gamma telah dioperasikan oleh negara-negara anggota International Atomic Energi Agency (IAEA). Pada saat itu kebanyakan iradiator gamma digunakan untuk tujuan sterilisasi obat-obatan dan peralatan kedokteran, pengawetan makanan atau bahan pangan, polimerisasi, dan pembasmian serangga.

Konstruksi Fasilitas Iradiasi Gamma dirancang sedemikian, sehingga selama pengoperasian normal paparan radiasi yang akan diterima oleh para pekerja radiasi sangat kecil di bawah batas yang diijinkan dan paparan radiasi yang diterima oleh masyarakat tidak signifikan. Walaupun demikian, paparan radiasi yang signifikan dapat terjadi dari tidak terkontrolnya paparan radiasi atau kerusakan sumber radiasi akibat mekanisme untuk mengembalikan sumber radiasi pada posisi aman (penyimpanan) tidak berfungsi. Kerusakan sumber ini menyebabkan paparan sumber radiasi tetap tinggi sehingga akan menghambat kegiatan perbaikan. Kontaminasi dapat berasal dari terjadi karat pada sumber radiasi yang rusak, sehingga upaya dekontaminasi menjadi sangat mahal dan berisiko tinggi. Oleh karena itu diperlukan fasilitas iradiasi gamma yang tingkat keselamatan dan keandalannya tinggi. Hal ini dapat diatasi dengan kontrol kualitas yang efektif dalam desain, manufaktur, instalasi, operasi, dan dekomisioning.

Fasilitas Iradiasi Gamma menimbulkan paparan radiasi yang sangat tinggi ketika dioperasikan, sehingga jika ada orang yang memasuki ruang iradiasi akan mendapatkan dosis radiasi yang mematikan (lethal dose) dalam beberapa detik. Hal ini pernah terjadi di Italia (1975), Norway (1982), El Salvador (1989), dan Israel (1990).

Risiko paparan radiasi yang tinggi selama pengoperasian fasilitas iradiasi gamma dapat diminimumkan dengan desain dan konstruksi iradiator yang sesuai dengan memperhatikan material penahan radiasi dan sistem interlok, program proteksi radiasi yang menekankan pada pelatihan dan kendali akses.

Dalam modul ini akan diuraikan mengenai Kategori iradiator gamma, tujuan keselamatan radiasi, filosofi keselamatan dan persyaratan desain iradiator gamma khususnya iradiator gamma IV.

Setelah mempelajari modul ini peserta akan memiliki kompetensi untuk menganalisis sistem keselamatan pengoperasian iradiator gamma yang diperlukan untuk setiap iradiator gamma dengan indikator :

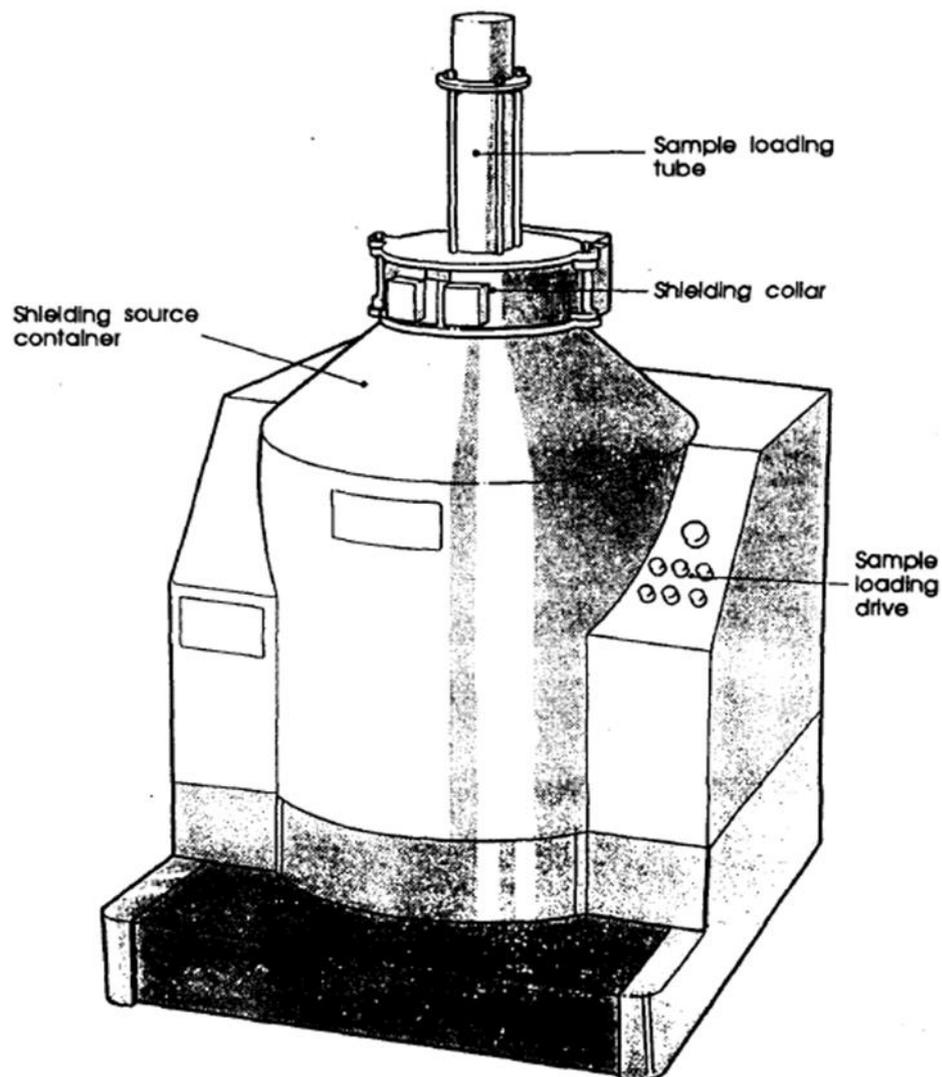
1. Menyebutkan Kategori-Kategori iradiator dan nya;
2. Menjelaskan sistem keselamatan yang dimiliki untuk setiap iradiator gamma;
3. menjelaskan tujuan keselamatan radiasi;
4. menjelaskan filosofi keselamatan radiasi;
5. menyebutkan persyaratan desain iradiator gamma.

BAB II

KATEGORI IRADIATOR GAMMA

Kategori Iradiator gamma dengan aktivitas sumber radiasi antara 10 kCi (37 TBq) sampai 3 MCi (100 PBq) dibagi menjadi 4 yaitu :

A. Iradiator Gamma Kategori I



Gambar II.1. A self – contained, dry source storage irradiator.

Sumber radiasi terbungkus Kategori Iradiator I terkungkung di dalam kontener yang terbuat dari material padat (penahan radiasi, biasanya Timah Hitam) dan

terkungkung sepanjang waktu, sehingga orang tidak mungkin masuk ke dalam ruang iradiasi. Jika terjadi kedaruratan misalnya sumber radiasi tidak dapat kembali ke tempat penyimpanannya, sumber radiasi tetap terkungkung dalam kontener berperisai radiasi.

B. Irradiator Gamma Kategori II

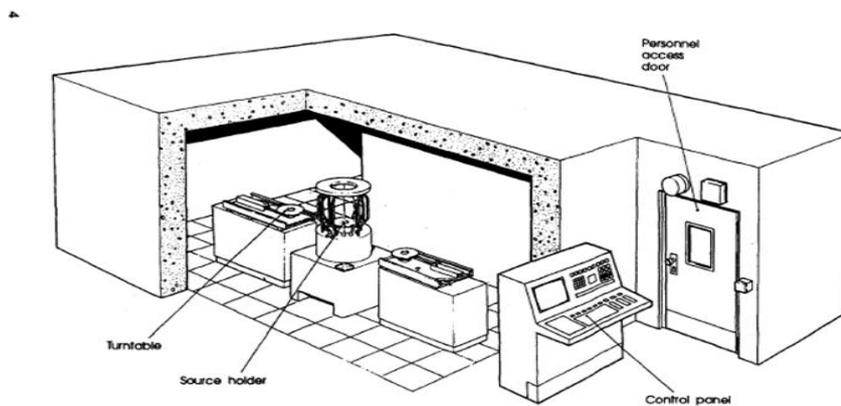
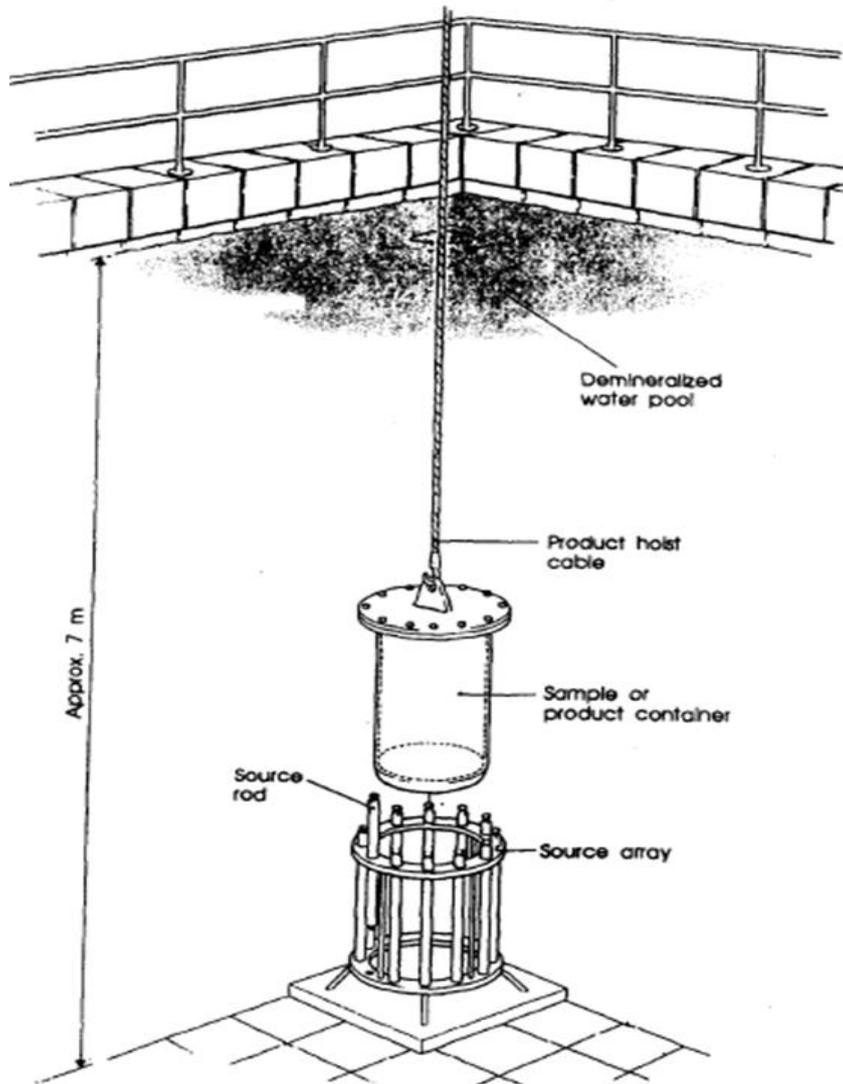


FIG. 2. Category II gamma irradiation facility: a panoramic, dry source storage irradiator.

Gambar II.2. A panoramic, dry source storage irradiator.

Sumber radiasi terbungkus Kategori Irradiator Gamma II terkungkung dalam kontener yang terbuat dari material padat (material penahan radiasi) yang terkungkung seluruhnya dengan aman (di tempat penyimpanan) bila tidak dioperasikan. Irradiator tipe ini dilengkapi dengan kendali akses ke ruang iradiasi, pull rope, dan emergency push button.

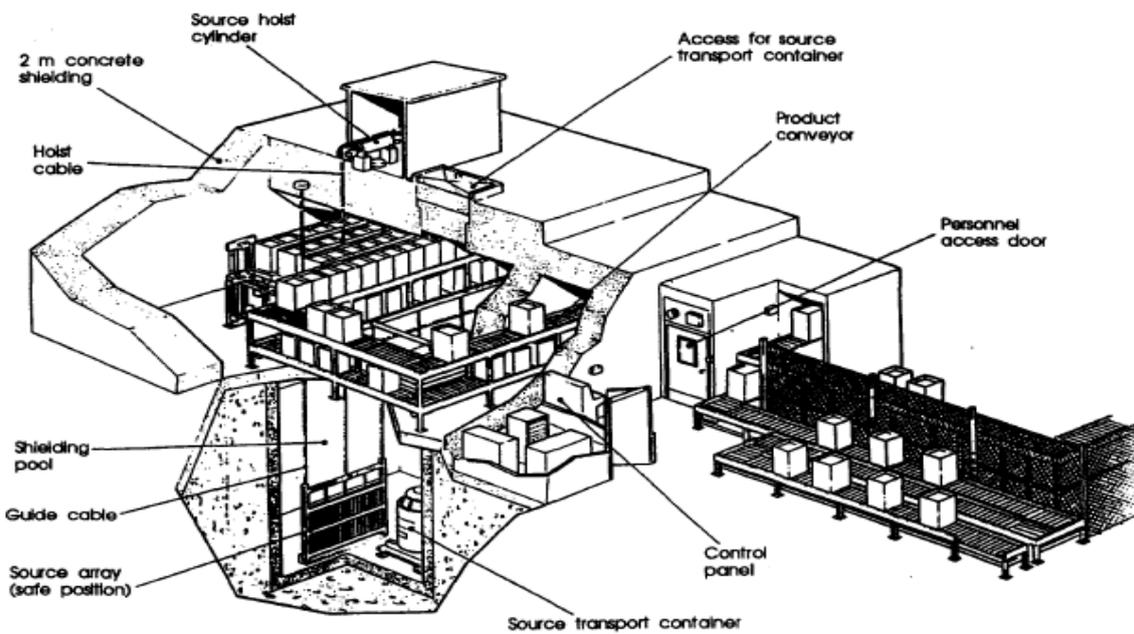
C. Irradiator Gamma Kategori III



Gambar II.3. A self – contained, wet source storage irradiator.

Sumber radiasi terbungkus Kategori Irradiator Gamma III tersimpan sepanjang waktu di dalam kolam berisi air. Produk yang akan di iradiasi dimasukkan dan di sinari di dalam kolam. Setelah selesai iradiasi, produk di angkat ke luar kolam. Air di dalam kolam berfungsi sebagai penahan radiasi.

D. Iradiator Gamma Kategori IV



Gambar II.4. A panoramic, wet source storage irradiator

Sumber radiasi terbungkus Kategori Iradiator Gamma IV tersimpan di dalam kolam dengan aman jika tidak digunakan. Ruang iradiasi terkungkung oleh dinding beton dengan spesifikasi khusus. Sumber radiasi akan diangkat ke atas ke luar dari kolam untuk mengiradiasi produk. Setelah produk selesai diiradiasi, sumber radiasi akan kembali ke tempat penyimpanannya di dalam kolam. Air kolam berfungsi sebagai penahan radiasi.

BAB III

PERSYARATAN DESAIN

A. Persyaratan Desain

1. Desain sumber radiasi gamma

Bungkusan sumber radiasi gamma di uji dengan klasifikasi standar unjuk kerja sumber terbungkus ISO 2919, meliputi uji temperatur, tekanan, benturan, getaran dan tumbukan. Evaluasi untuk mengetahui batas kemampuan integritas pembungkus sumber radiasi dengan mempertimbangkan dampak yang mungkin terjadi seperti: kebakaran, ledakan, korosi, dan aspek lain yang berhubungan dengan penggunaan sumber radiasi secara terus menerus.

Bahan kapsul pembungkus sumber radiasi dipilih baja tahan karat yang mampu bertahan dalam air tanpa mengalami proses korosi dan tahan temperatur tinggi.

Persyaratan khusus untuk sumber radiasi terbungkus yang digunakan pada Iradiator Gamma IV adalah :

- tutup luar kapsul sumber radiasi (encapsule) tidak berkarat selama penyimpanan di dalam kolam.
- komposisi material sumber radiasi tidak larut dalam air.

Pabrik pembuat sumber radiasi harus memberikan informasi yang diperlukan untuk mendapatkan lisensi (izin) dari Badan Pengawas .

Informasi ini disebut sertifikat sumber radiasi yang berisi antara lain : model dan nomor seri sumber radiasi, radionuklida yang terkandung di dalamnya, aktivitas dan tanggal pembuatan sumber radiasi, sertifikat uji kebocoran, dan sertifikat uji kontaminasi.

2. Desain Internal

a. Pemegang dan rak sumber radiasi

Rak sumber dan mekanisme penggerak sumber radiasi harus diproteksi dengan pengarah untuk mencegah kemungkinan terjadinya tumbukan antara sistem pembawa produk dengan rak (mekanisme penggerak sumber radiasi).

b. Pengaman sumber radiasi

Pengaman sumber radiasi dimaksudkan untuk menjaga sumber radiasi agar tidak kontak langsung dengan produk. Jika kontak langsung terjadi, kemungkinan besar mekanisme penggerak turun naiknya sumber radiasi tidak berfungsi (macet) yang dapat menimbulkan panas tinggi serta kebakaran.

c. Sistem positioning produk

Sistem positioning produk dilengkapi dengan sistem kendali yang akan mendeteksi terjadinya malfungsi serta mengembalikan sumber radiasi pada posisi aman di tempat penyimpanannya di dalam kolam secara otomatis.

3. Penahan Radiasi

Paparan radiasi langsung yang dihasilkan oleh pengoperasian irradiator gamma harus diperkecil dengan penahan radiasi. Tebal penahan radiasi harus memperhitungkan laju dosis yang dihasilkan, densitas dan koefisien serap material penahan radiasi yang digunakan, dan persyaratan maksimal laju dosis di luar ruang iradiasi yang ditetapkan oleh Badan Pengawas. Hal yang harus diperhatikan adalah tidak adanya paparan radiasi yang ke luar dari ruang iradiasi karena adanya sistem pengkabelan, ducting, pemakaian sistem lorong dan perisai sumber sehingga radiasi hambur tidak menambah paparan di luar ruang radiasi.

4. Akses ke Sumber Radiasi dan Sistem Interlok

Desain irradiator gamma II dan IV mempersyaratkan tidak ada akses ke ruang iradiasi selama sumber pada posisi penyinaran (exposed). Untuk mengendalikan akses ke ruang iradiasi digunakan sistem interlock.

Sistem interlock yang harus ada pada Irradiator Gamma IV antara lain :

- Interlok pintu untuk akses ke ruang iradiasi
- Interlok pintu untuk ke luar masuk produk yang akan dan telah diiradiasi
- Monitor radiasi terpasang tetap dengan alarm

Sistem (peralatan) monitor harus tersedia untuk mendeteksi tingkat radiasi di dalam ruang iradiasi ketika iradiasi sedang berlangsung sampai selesai. Sistem monitor integral dengan interlock akses personil untuk mencegah akses ke ruang iradiasi ketika pada monitor terdeteksi tingkat radiasi yang berlebih dari seharusnya, malfungsi atau rusak.

- Interlok status sumber dan paparan radiasi

Harus tersedia sistem/peralatan yang menunjukkan status sumber radiasi (exposed/shielded) dan sistem tersebut interlok dengan penunjukkan besarnya paparan radiasi atau laju dosis. Jika terjadi malfungsi terhadap mekanisme paparan radiasi, sumber radiasi akan bergerak ke tempat penyimpanannya (fully shielded/aman) secara otomatis. Jika sumber radiasi tidak dapat kembali ke posisi aman di tempat penyimpanannya, maka harus tersedia pula sistem untuk mencegah akses ke ruang iradiasi dengan tanda-tanda/alarm yang dapat dilihat atau didengar.

- Monitor sistem pengolahan air kolam irradiator

Monitor yang terpasang tetap dan dilengkapi dengan alarm tersedia untuk mendeteksi kontaminasi air kolam irradiator yang berasal dari kebocoran sumber radiasi. Monitor ini interlok dengan kendali di ruang iradiasi, sehingga sumber kembali ke tempat penyimpanan dan sirkulasi air kolam irradiator terhenti

5. Panel kendali

Setiap iradiator memiliki master kendali berupa kunci yang dapat mencegah pengoperasian iradiator oleh orang yang tidak berwenang. Master kunci ini biasanya diberikan 2 buah, satu untuk pengoperasian iradiator secara rutin, satu lagi disimpan oleh yang berwenang di tempat yang aman. Emergency stop button adalah tombol untuk mencegah, menginterupsi secara cepat atau menghentikan iradiator. Dalam rangka perawatan iradiator, maka tersedia mekanisme pemutusan paparan radiasi sumber yang dihubungkan dengan sistem penggerak sumber radiasi, sehingga perawatan dapat dilakukan dengan aman.

6. Ruang Iradiasi

Terkait ruang iradiasi, tersedia "*timer delay safety*". Alat pengatur waktu ini akan memberikan alarm visual dan audio untuk menunda beroperasinya iradiator dengan tujuan memberi kesempatan kepada operator memeriksa kondisi ruang iradiasi dan diintegrasikan dengan sistem kendali utama. Di dalam ruang iradiasi juga terdapat tali tarik (*pull rope*) dan atau tombol darurat untuk menghentikan dimulainya pengoperasian dengan menarik tali atau menekan tombol dari dalam ruang iradiasi.

7. Iradiator Tipe Kolam

Air digunakan sebagai penahan radiasi pada iradiator gamma tipe kolam (III dan IV). Pengungku kolam didesain kedap air dengan material pengungku dari stainless steel yang tahan terhadap korosi. Tersedia sistem kendali ketinggian air – normal yang bertujuan untuk mencegah berkurangnya ketinggian air karena menguap atau kebocoran kolam. Sistem kendali ketinggian air – abnormal akan mengaktifkan alarm visual dan audio bila ketinggian air di dalam kolam berkurang 30 cm dari normal. Kondisi air kolam harus dipertahankan konduktivitasnya sekitar 10 μmho .

Jika konduktivitas air kolam melebihi persyaratan, maka harus dilakukan penggantian resin secara periodik. Resin berfungsi sebagai penyerap pengotor air dalam kolam iradiator.

Di dalam kolam iradiator terjadi peningkatan temperatur akibat pancaran sinar gamma sumber radiasi. Temperatur yang tinggi dapat menimbulkan kerusakan pada material pengungkung sumber dan selanjutnya menjadi korosi. Untuk mencegah terjadinya korosi, maka air pendingin kolam harus disirkulasikan terus menerus.

Untuk mencegah personel, kotoran atau benda-benda lain jatuh ke dalam kolam, maka harus tersedia pengaman dan penutup kolam yang terbuat dari metal. Pengaman dan penutup kolam ini harus dapat dipindahkan atau digeser bila terjadi penambahan sumber radiasi, pekerjaan perawatan atau overhaul.

8. Geologi Tapak Iradiator

Tapak tempat iradiator akan di bangun harus mempertimbangkan pengaruh geologi seperti tingkat gempa dan frekuensi kejadiannya di daerah tapak. Pengaruh geologi ini harus diperhitungkan dan diantisipasi dalam desain dan konstruksi iradiator.

Detektor seismik harus tersedia jika iradiator berada dalam daerah dengan tingkat gangguan seismik yang tinggi, khususnya untuk iradiator II dan IV. Detektor seismik akan memberikan sinyal kepada sistem kendali sumber radiasi apabila terjadi bahaya seismik untuk mengembalikan sumber pada posisi penyimpanan (aman).

Pada daerah seismik dengan tingkat gempa Kategori tertentu, desain perisai radiasi harus mampu untuk menahan gempa tersebut (Desain Basis Eathquake)

9. Proteksi Terhadap Bahaya Kebakaran

Kebakaran dalam ruang iradiasi harus diantisipasi dengan tersedianya peralatan deteksi asap/panas dengan alarm visual dan audio. Desain fasilitas iradiasi harus dapat meminimalisasi kerusakan akibat kebakaran

dan tidak menjadi kendala untuk kembalinya sumber radiasi ke posisi penyimpanan (aman).

10. Kegagalan Catu Daya

Jika terjadi kegagalan pada catu daya fasilitas iradiasi, maka harus tersedia catu daya (sumber listrik) cadangan seperti batere, genset untuk mengembalikan sumber radiasi ke tempat penyimpanannya secara otomatis dan menghentikan pengoperasian iradiator gamma.

Jika penyebab terjadi kegagalan adalah daya non listrik (daya pneumatik/hidrolik), maka harus tersedia peralatan yang akan mengembalikan sumber radiasi ke posisi penyimpanan (aman).

11. Sistem Ventilasi

Di dalam pengoperasian iradiator gamma, timbul produk-produk radiolisis antara lain : Ozon (O₃), gas Nitrogen dan lain-lain gas yang tidak diketahui. Untuk mengeluarkan gas-gas tersebut dengan cepat dari dalam ruang iradiasi, maka diperlukan blower yang kapasitasnya memadai, dan ozonmeter yang interlok dengan kendali akses dan terhubung ke panel pengendali. Untuk memastikan bahwa Ozon sudah terserap ke luar ruang iradiasi, maka disediakan pengatur waktu tunda sampai konsentrasi ozon mencapai tingkat aman.

12. Simbol dan Tanda-Tanda Peringatan

Perlu dipasang simbol atau tanda-tanda peringatan pada pintu masuk ruang iradiasi yang ditulis dengan bahasa yang singkat dan mudah dimengerti. Indikator status sumber radiasi (*exposed/ shielded*) harus jelas terlihat dan berwarna mencolok dan alarm audio harus bisa didengar dengan jelas dari jarak yang cukup jauh.

BAB IV

SISTEM KESELAMATAN IRADIATOR GAMMA

Sistem Keselamatan adalah :

- Suatu sistem yang diupayakan untuk mencapai suatu tujuan dalam keadaan selamat
- Suatu sistem yang dirancang untuk memberikan perlindungan menyeluruh baik bagi pekerja, masyarakat sekitar, produk dan peralatan itu sendiri

A. Tujuan Keselamatan Radiasi

Sistem keselamatan Iradiator Gamma yang dimaksud disini adalah sistem yang berkaitan dengan keselamatan radiasi.

Tujuan keselamatan radiasi adalah :

- Menjamin paparan radiasi selama operasi normal, perawatan, komisioning, dekomisioning, dan dalam keadaan darurat mengikuti prinsip ALARA baik bagi pekerja maupun masyarakat dengan memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial.
- Menjamin paparan radiasi selama operasi normal, perawatan, komisioning, dekomisioning, dan dalam keadaan darurat dijaga tidak melebihi batas dosis sesuai aturan yang berlaku baik bagi pekerja maupun masyarakat.
- Menjamin nilai probabilitas suatu kejadian yang menghasilkan paparan signifikan dan nilai paparan dijaga mengikuti prinsip ALARA yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial.

B. Filosofi Keselamatan

Falsafah Keselamatan desain iradiator tergantung pada tujuan operasi yang direncanakan serta kebutuhan setiap Kategori/ fasilitas iradiasi gamma. Prinsip- prinsip desain dasar tersebut adalah sebagai berikut:

1. Defence in depth (pertahanan berlapis)

Penerapan konsep pertahanan berlapis untuk semua tingkat pengamanan kegiatan (desain organisasi, terkait dengan perilaku) untuk memastikan bahwa pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup dijamin terlindungi oleh ketentuan pertahanan berlapis ini sehingga jika kegagalan harus terjadi, maka akan ada kompensasi atau koreksi. Desain harus memasukkan konsep ini sehingga beberapa tingkat perlindungan yang akan diberikan dan adanya campur tangan manusia harus diminimalkan. Dalam tahapan proses desain seperti serangkaian tingkat pertahanan yang tersedia (yang berupa peralatan dan prosedur) untuk mencegah terjadinya kecelakaan atau mengurangi konsekuensi apabila upaya pencegahan gagal.

- Tingkat pertahanan yang pertama untuk mencegah penyimpangan dari operasi normal harus dicapai dengan menggunakan perancangan/desain, pembangunan dan pengoperasian iradiator, dengan penuh kehati-hatian sesuai dengan program jaminan kualitas yang telah disusun.
- Tingkat pertahanan kedua adalah untuk mendeteksi dan merespon apabila terjadi penyimpangan dari kondisi operasi normal untuk mencegah kejadian dari operasional yang terantisipasi meningkat menjadi kondisi kecelakaan.
- Tingkat pertahanan ketiga bertujuan untuk mengurangi konsekuensi dari kecelakaan apabila terjadi melalui upaya untuk mencapai kondisi stabil dan dapat diterima. Iradiator hanya boleh dioperasikan jika semua tingkat pertahanan tersebut tersedia dan berfungsi.

2. Redundansi

Redundansi adalah penggunaan sistem atau peralatan dengan jumlah lebih dari minimum alat/sistem yang dibutuhkan untuk mencapai fungsi keselamatan yang diperlukan. Hal ini memungkinkan kegagalan atau

tidak tersedianya salah satu komponen akan ditoleransi tanpa pengurangan atau kehilangan fungsinya. Sebuah komponen yang berlebih juga dapat dianggap sebagai sistem/alat redundansi, meski tidak sangat diperlukan, tetapi disediakan untuk tujuan yang sama dalam rangka mengganti komponen lain yang gagal beroperasi.

3. Diversity (keandalan)

Keandalan beberapa sistem dapat ditingkatkan dengan menggunakan prinsip keberagaman. Hal ini diterapkan pada sistem atau komponen redundan yang melakukan fungsi keselamatan yang sama dengan menggabungkan atribut yang berbeda (seperti prinsip operasi yang berbeda, operasi yang berbeda kondisi) ke dalam sistem atau komponen.

4. Independensi

Independensi dicapai dalam desain sistem yang menerapkan isolasi fungsional dan pemisahan fisik. Keandalan sistem dapat ditingkatkan dengan menggunakan komponen independen atau sistem independen sehingga kegagalan dapat dihindari. Penggunaan konsep ini meningkatkan keandalan sistem dan mempertahankan sistem keselamatan.

5. Programable Electronic Systems (Sistem Elektronik Yang Terprogram)

Sistem elektronik yang terprogram digunakan dalam aplikasi kendali keselamatan yang mempunyai potensi masalah yang berkaitan dengan integritas perangkat keras dan validasi perangkat lunak yang dapat mengarah ke kesalahan sistem.

Setiap perubahan terhadap perangkat lunak hanya dapat dilakukan apabila dilakukan oleh pihak yang memiliki otoritas dan kompeten.

6. Safety Analisis (Analisis Keselamatan)

Sebuah metode penilaian keselamatan formal - misalnya teknik analisis bahaya probabilistik, maka analisis keselamatan harus digunakan. Setiap komponen dalam sistem harus dipertimbangkan. Semua Kategori potensi kegagalan dan konsekuensinya secara keseluruhan harus diperhitungkan dengan mempertimbangkan keandalan prosedur operasi keselamatan. Pemegang Izin harus menunjukkan bagaimana desain iradiator dan operasional yang terkait prosedur akan memberikan kontribusi pada pencegahan dan mitigasi kecelakaan kepada pihak yang berwenang. Informasi ini harus diberikan dalam bentuk analisis keselamatan yang didokumentasikan sebagai bagian dari dokumen perizinan dan diserahkan kepada pihak yang berwenang.

Di dalam Laporan Analisis Keselamatan harus diuji kondisi-kondisi antara lain :

- Hilangnya kendali akses
- Malfungsi dan kerusakan struktur, sistem , dan komponen
- Hilangnya kendali terhadap sistem pergerakan sumber radiasi
- Hilangnya integritas sistem atau komponen, termasuk penahan radiasi, penutup kapsul sumber radiasi, dan integritas kolam
- Kesalahan distribusi kelistrikan, dari kesalahan yang terlokalisir sampai kehilangan sumber daya listrik eksternal
- Kerusakan akibat faktor luar sistem (alam) seperti badai, banjir, gempa bumi atau ledakan

RANGKUMAN

1. Sistem keselamatan iradiator gamma adalah : suatu sistem yang diupayakan untuk mencapai suatu tujuan dalam keadaan selamat. Sistem tersebut dirancang untuk memberikan perlindungan menyeluruh, baik bagi pekerja, masyarakat sekitar, produk maupun peralatan itu sendiri.
2. Iradiator gamma tergolong dalam 4 (empat) sesuai tipe, desain, aktivitas sumber radiasi maksimal dan sistem keselamatan yang dipersyaratkan.
3. Tujuan keselamatan radiasi adalah :
 - Menjamin paparan radiasi selama operasi normal, perawatan, komisioning, dekomisioning, dan dalam keadaan darurat mengikuti prinsip ALARA baik bagi pekerja maupun masyarakat dengan memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial.
 - Menjamin paparan radiasi selama operasi normal, perawatan, komisioning, dekomisioning, dan dalam keadaan darurat dijaga tidak melebihi batas dosis sesuai aturan yang berlaku baik bagi pekerja maupun masyarakat.
 - Menjamin nilai probabilitas suatu kejadian yang menghasilkan paparan signifikan dan nilai paparan dijaga mengikuti prinsip ALARA yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial.
4. Falsafah Keselamatan desain iradiator tergantung pada tujuan operasi yang direncanakan serta kebutuhan setiap Kategori/ fasilitas iradiasi gamma. Prinsip- prinsip desain dasar tersebut adalah : Defence in depth (pertahanan berlapis), redundansi, diversity (keandalan), independensi, sistem elektronik yang terprogram, dan analisis keselamatan.
5. Iradiator gamma yang memiliki ruang penyinaran cukup luas, harus dilengkapi dengan sistem interlok kendali akses.
6. Pada iradiator tipe kolam IV, yang terpenting dalam setiap kedaruratan kecil maupun besar, sumber radiasi harus dapat kembali ke tempat penyimpanannya dengan aman.

7. Material penahan radiasi yang digunakan pada iradiator gamma IV haruslah material yang mempunyai daya menyerap radiasi besar dan densitasnya tinggi.
8. Air dalam kolam penyimpanan sumber radiasi iradiator gamma IV berfungsi sebagai penahan radiasi. Kolam tersebut dikungkung oleh material yang kedap air dan tahan korosi yaitu stainless steel.
9. Sistem ventilasi diperlukan dalam pengoperasian iradiator gamma untuk menghilangkan/menyedot gas-gas beracun yang dihasilkan selama iradiasi antara lain Ozon, Nitrogen, dan gas-gas lain yang tidak diketahui..

LATIHAN SOAL

1. Yang termasuk Iradiator Gamma Tipe kolam (wet source storage) adalah Iradiator :
 - A. I dan II
 - B. II dan IV
 - C. II dan III
 - D. III dan IV

2. Pernyataan yang benar tentang filosofi keselamatan “Pertahanan Berlapis” dalam pengoperasian iradiator gamma adalah, kecuali
 - A. mencegah penyimpangan operasi normal
 - B. mendeteksi dan merespon penyimpangan operasi normal
 - C. kerengkapan alat atau sistem yang dipakai untuk melakukan monitor suatu parameter
 - D. Mengurangi akibat kecelakaan

3. Jika terjadi kegagalan sistem kendali dalam iradiator gamma I, maka untuk mempertahankan sumber radiasi dalam posisi aman
 - A. diperlukan Sistem keselamatan tambahan
 - B. diperlukan sistem keselamatan khususnya yang terkait dengan akses ke ruang iradiasi
 - C. tidak diperlukan sistem keselamatan tambahan
 - D. diperlukan sistem keselamatan untuk meyakinkan posisi sumber yang terkendali

4. Tali tarik (pull rope) dan tombol darurat merupakan bagian dari sistem keselamatan pada iradiator gamma II dan IV yang berfungsi untuk :
 - A. menunda beroperasinya iradiator dengan tujuan memberikan kesempatan pada operator untuk memeriksa kondisi ruang iradiasi
 - B. mencegah pengoperasian iradiator oleh orang yang tidak berhak
 - C. pengendalian akses ke ruang iradiasi
 - D. menghentikan dimulainya pengoperasian

DAFTAR PUSTAKA

1. Safety Series No. 107 , "Radiation Safety of Gamma and Electron Irradiation Facilities, IAEA-Vienna, 1992.
2. IAEA Safety Standar Series No.SSG-8 "Radiation Safety og Gamma, Electron and X-Ray Irradiation Facilities" , IAEA, 2010.