

SISTEM KESELAMATAN IRADIATOR



Pelatihan Pekerja Iradiator
PUSDIKLAT-BATAN
2021

Saminto
saminto@batan.go.id
PUSAT SAIN DAN TEKNOLOGI AKSELERATOR
BATAN, YOGYAKARTA



- ❑ **Pemanfaatan tenaga nuklir khususnya iradiasi gamma atau iradiasi elektron di bidang industri telah banyak dikembangkan untuk:**
 - Sterilisasi radiasi, produk medis dan farmasi, iradiasi makanan, polimer modifikasi dan lingkungan.
- ❑ **Penggunaan radiasi pengion dalam kegiatan industri:**
 - Membutuhkan pertimbangan keselamatan dalam rangka untuk mendapatkan perizinan dari instansi berwenang mulai dari tahap perencanaan, konstruksi desain, operasi dan pemeliharaan fasilitas iradiasi serta dekomisioning atau pembongkaran fasilitas.
- ❑ **Persyaratan keselamatan melibatkan tindakan:**
 - Pencegahan untuk melindungi pekerja fasilitas iradiasi, pelanggan dan penduduk yang tinggal di sekitar fasilitas, karena paparan radiasi berlebih yang diakibatkan hilangnya kendali dari sumber radiasi tsb.



❑ **Tindakan keselamatan yang diperlukan:**

Untuk memastikan operasi yang aman dengan melindungi bagian-bagian dari fasilitas iradiasi sendiri termasuk SIK dan peralatan tambahan (utilitas). Hal ini merupakan persyaratan dasar sejak dari perencanaan fasilitas, tanggung jawab organisasi pengoperasi serta semua pihak yang terkait yaitu, mulai dari desain, konstruksi, instalasi untuk mendirikan fasilitas iradiasi secara jelas diidentifikasi dan didokumentasikan.

❑ **Penggunaan sumber radiasi pengion diawasi dan dikendalikan oleh BAPETEN.**

Dalam kondisi apapun iradiator tsb tidak diizinkan dioperasikan oleh orang atau petugas yang tidak terqualifikasi, baik mengoperasikan, melakukan perawatan, perbaikan atau modifikasi terhadap sistem iradiator tersebut.



- a. Dapat mengetahui, memahami dan mampu menjelaskan:**
Kategori iradiator sumber radiasi pengion, tujuan keselamatan, falsafah disain keselamatan, persyaratan khusus dan penanggulangan kedaruratan fasilitas iradiator.

- b. Mengetahui tujuan keselamatan:**
Menyebutkan falsafah keselamatan disain iradiator, menjelaskan arti pertahanan berlapis, dapat menyebutkan parameter desain dasar dasar dan fitur keselamatan iradiator.



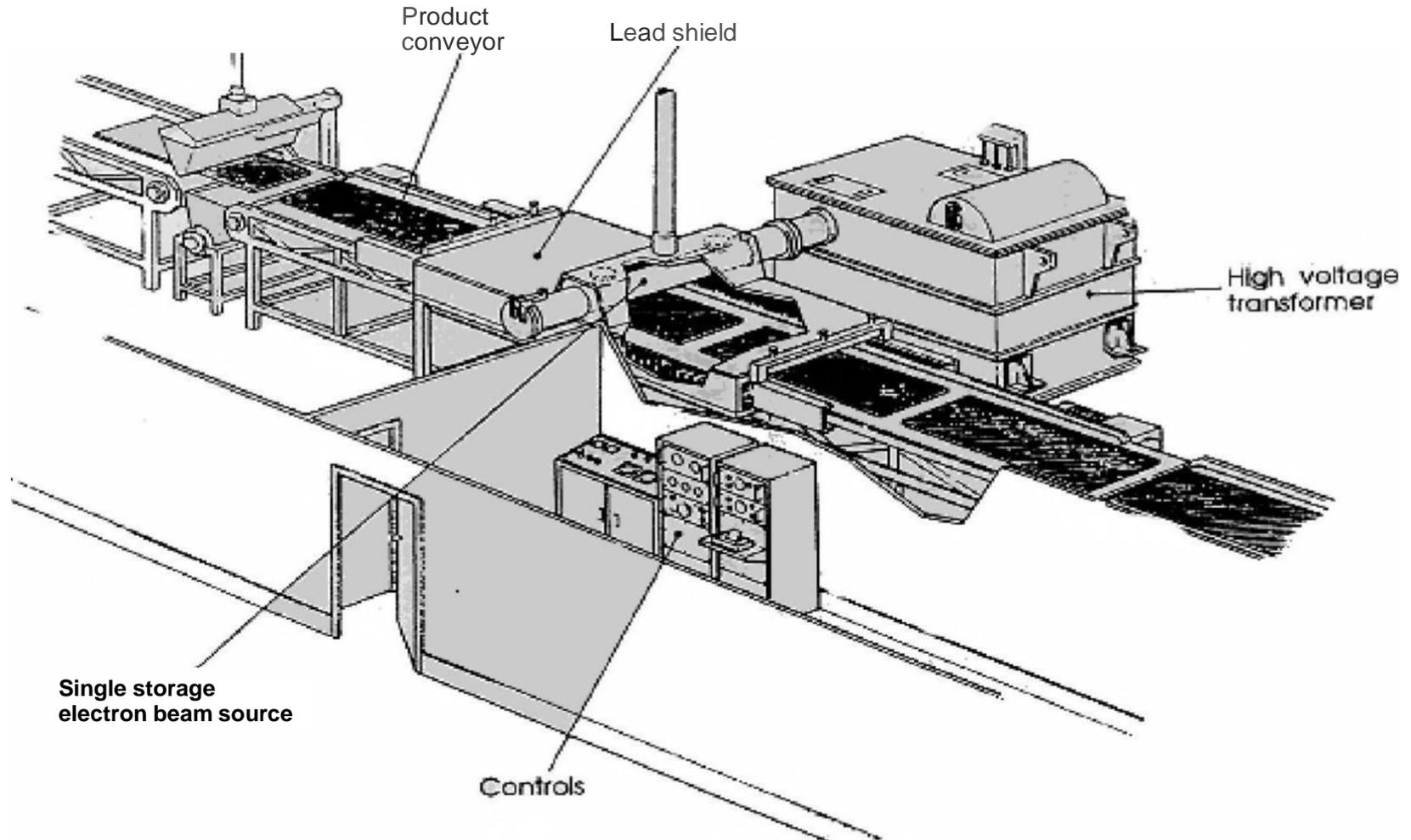
Hingga saat ini fasilitas iradiasi sumber radiasi pengion dibedakan dalam **2 kategori** :

Kategori 1:

Suatu unit terpadu dari sebuah penghasil berkas electron/ion dengan sistem interlock, dimana konfigurasi perisai tidak memungkinkan akses manusia selama operasi, ditunjukkan pada Gambar 1.



FASILITAS IRADIASI PEMBANGKIT RADIASI PENGION

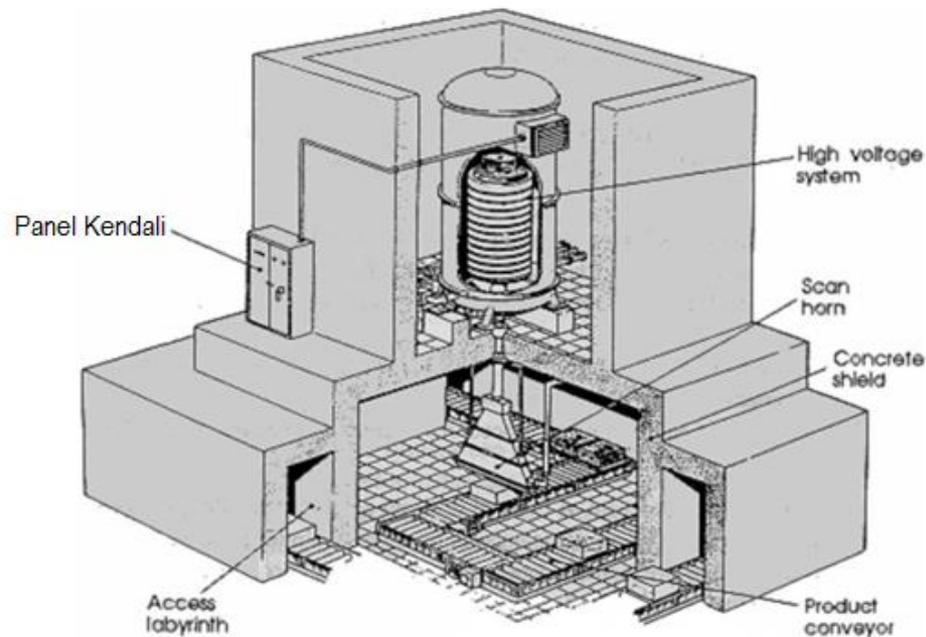


Gambar 1. Irradiator electron/ion dengan energi dibawah 0,5 MeV



Kategori 2:

Iradiator electron/ion terletak didalam ruang terlindung yang diupayakan tidak dapat diakses oleh manusia selama operasi oleh sistem kendali. Iradiator electron/ion yang beroperasi lebih tinggi dari 0,5 MeV ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Iradiator electron/ion dengan energi lebih tinggi dari 0,5 MeV



A. ADMINISTRASI

Setiap orang atau badan usaha yang akan menggunakan iradiator wajib memiliki izin dari Kepala BAPETEN dan memenuhi persyaratan Keselamatan Radiasi. Izin penggunaan Pembangkit Radiasi Peningkatan Kategori I dan Kategori II, meliputi:

- a. Izin konstruksi.
- b. Izin operasi.



Persyaratan izin penggunaan Irdiator Pengion Kategori 1 dan 2 untuk yang baru mengajukan izin bagi perorangan atau badan usaha, meliputi:

- a. Kartu tanda penduduk (KTP), kartu izin tinggal sementara (KITAS), paspor, atau surat keterangan domisili perusahaan; akta pendirian badan hukum atau badan usaha; dan surat izin usaha perdagangan (SIUP) atau izin usaha tetap dari instansi yang berwenang.
- b. Data lokasi penggunaan.
- c. Dokumen program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
- d. Fotokopi bukti permohonan pelayanan pemantauan dosis perorangan (untuk orang atau badan yang baru mengajukan izin) atau hasil evaluasi pemantauan dosis perorangan.
- e. Fotokopi sertifikat kalibrasi surveymeter.
- f. Fotokopi Surat Izin Bekerja (SIB) Petugas Proteksi Radiasi; Operator; Petugas Dosimetri; dan Petugas Perawatan.



Selain memenuhi persyaratan izin, pemohon harus menyampaikan **fotokopi sertifikat mutu tabung iradiator sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI)** atau standar lain yang tertelusur yang diterbitkan oleh pihak pabrikan atau laboratorium terakreditasi di negara asal, minimal berisi data:

- a. Merk.
- b. Model/tipe.
- c. Nomor seri.
- d. Tahun pembuatan.
- e. Energi elektron (MeV) maksimum;
dan arus berkas (mA) maksimum.



B. PERSYARATAN KESELAMATAN

Persyaratan keselamatan meliputi:

1. Persyaratan Manajemen.
2. Persyaratan Proteksi Radiasi.
3. Persyaratan Teknis.
4. Verifikasi Keselamatan.

B1. Persyaratan Manajemen

Pemegang izin wajib menunjuk penanggungjawab keselamatan dengan tugas meliputi:

1. Menyediakan, mengimplementasi, dan mendokumentasi program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
2. Memverifikasi secara sistematis bahwa hanya personil yang sesuai dengan kompetensi yang dapat bekerja dalam penggunaan Iradiator.
3. Menyelenggarakan pelatihan Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
4. Menyelenggarakan pemantauan kesehatan bagi personil; menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi.
5. Melaporkan kepada Kepala BAPETEN mengenai pelaksanaan program proteksi dan Keselamatan Radiasi, serta verifikasi keselamatan.



Kompetensi personil yang dapat bekerja dalam penggunaan iradiator meliputi:

a. Tenaga Ahli (*Qualified Expert*) bertanggung jawab :

1. Mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi.
2. Meninjau ulang program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
3. Menyetujui jenis dan bahan dosimeter, aplikasi dan metode pengukuran dosis yang diajukan oleh Petugas Dosimetri.
4. Memberikan pertimbangan kepada pemegang izin berdasarkan aspek keselamatan radiasi, praktik rekayasa yang teruji, dan kajian keselamatan secara komprehensif untuk peningkatan layanan jasa iradiasi.

Tenaga Ahli (*Qualified Expert*) dapat menjadi personil pekerja tetap atau paruh waktu dan dapat merangkap sebagai Petugas Proteksi Radiasi (PPR).



b. Petugas Proteksi Radiasi bertanggung jawab : (15)

1. Mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi.
2. Membuat program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
3. Memantau aspek operasional program Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
4. Menjamin bahwa perlengkapan Proteksi Radiasi tersedia dan berfungsi baik.
5. Memantau pemakaian perlengkapan Proteksi Radiasi.
6. Meninjau secara sistematis dan periodik, program pemantauan di semua tempat di mana zat radioaktif digunakan, disimpan, atau diangkut.
7. Memberikan konsultasi yang terkait dengan Proteksi dan Keselamatan Radiasi
8. Berpartisipasi dalam mendesain fasilitas penyimpanan zat radioaktif.
9. Mengambil sampel uji kebocoran zat radioaktif.
10. Memelihara rekaman.
11. Mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan.
12. Melaksanakan latihan penanggulangan dan pencarian keterangan kedaruratan.
13. Melaporkan kepada Pemegang Izin setiap kejadian kegagalan operasi yang berpotensi Kecelakaan Radiasi.
14. Melaksanakan penanggulangan keadaan darurat.



15. Menyiapkan laporan tertulis mengenai pelaksanaan program Proteksi dan Keselamatan Radiasi, dan verifikasi keselamatan yang diketahui oleh Pemegang Izin untuk dilaporkan kepada Kepala BAPETEN; dan melakukan inventarisasi Pembangkit Radiasi Pengion.

c. Operator bertanggung jawab : (9 item)

1. Mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi.
2. Mengetahui dan memahami seluruh sistem Iradiator yang dioperasikan.
3. Menggunakan perlengkapan Proteksi Radiasi sesuai prosedur.
4. Melaporkan setiap kejadian kecelakaan kepada Petugas Proteksi Radiasi.
5. Melaporkan setiap gangguan kesehatan yang dirasakan, yang diduga akibat bekerja dengan radiasi kepada Pemegang Izin melalui PPR
6. Mengoperasikan Iradiator dengan aman sesuai dengan prosedur.
7. Mengamati fungsi semua peralatan selama operasi berjalan.
8. Mencatat semua kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan Iradiator, termasuk bahan yang diiradiasi dan besar dosis yang digunakan.
9. Mencatat dan melaporkan kepada PPR mengenai semua kelainan yang terjadi selama operasi berlangsung.



d. Petugas Dosimetri bertanggung jawab sbb: (7)

1. Mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi.
2. Menggunakan perlengkapan Proteksi Radiasi sesuai prosedur.
3. Melaporkan setiap kejadian Kecelakaan Radiasi kepada Petugas Proteksi.
4. Melaporkan setiap gangguan kesehatan yang dirasakan, yang diduga akibat bekerja dengan radiasi kepada Pemegang Izin melalui PPR
5. Menentukan jenis dosimetri dan metode pengukuran yang benar untuk memperoleh hasil yang maksimal.
6. Menentukan dosis yang bisa dipakai untuk meradiasi bahan sesuai dengan persyaratan yang diinginkan.
7. Mengukur distribusi dosis pada bahan yang diiradiasi.



e. **Petugas Perawatan bertanggung jawab sbb: (7)**

1. Mengetahui, memahami, dan melaksanakan semua ketentuan keselamatan kerja radiasi.
2. Melakukan pemantauan fungsi dan perawatan berkala pada Iradiator.
3. Melakukan perbaikan pada Iradiator, dalam pengawasan PPR
4. Menggunakan perlengkapan Proteksi Radiasi ketika melakukan perawatan pada Iradiator.
5. Melakukan perawatan pada Iradiator sesuai prosedur yang diberikan oleh pabrik dan prosedur kerja dari Pemegang Izin.
6. Menjamin bahwa Iradiator berfungsi dengan baik dan memenuhi prinsip Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
7. Membuat laporan hasil perawatan, analisis kerusakan, dan tindakan perbaikan pada Iradiator, kemudian diserahkan kepada Pemegang Izin melalui Petugas Proteksi Radiasi.



B.2. Persyaratan Proteksi Radiasi

Dalam tahapan instalasi desain, komisioning, operasi, pemeliharaan, dan dekomisioning suatu fasilitas iradiasi tujuan keselamatan radiasi hal harus selalu dipertimbangkan:

- a. Selama pengoperasian normal, perawatan dan dekomisioning, serta dalam keadaan darurat situasi proteksi radiasi harus dioptimalkan memastikan bahwa paparan radiasi terhadap pekerja dan publik diupayakan serendah mungkin yang dapat dilakukan, dengan memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial, prinsip *ALARA (As Low As Reasonably Practicable)*.
- b. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa selama operasi normal, pemeliharaan dan dekomisioning serta dalam situasi darurat paparan radiasi terhadap pekerja dan publik diupayakan di bawah batas dosis yang telah ditetapkan oleh badan pengawas seperti yang diberikan dalam ketentuan keselamatan kerja dengan radiasi pengion.
- c. Harus dipastikan bahwa probabilitas peristiwa yang menimbulkan paparan yang signifikan (cukup besar) serta besarnya paparan tersebut diupayakan serendah mungkin yang dapat dicapai dengan memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial.



Konsep 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 sehingga jika kegagalan harus terjadi, maka akan ada kompensasi atau koreksi. 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.

- a. **Tingkat pertahanan pertama:** untuk mencegah penyimpangan dari operasi normal harus dicapai dengan menggunakan perancangan/disain, pembangunan dan pengoperasian fasilitas, dengan penuh kehati-hatian sesuai dengan program jaminan kualitas yang telah disusun.
- b. **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.



c. Tingkat pertahanan ketiga bertujuan untuk mengurangi konsekuensi dari kecelakaan apabila terjadi melalui upaya untuk mencapai kondisi stabil dan dapat diterima. Fasilitas iradiasi hanya boleh dioperasikan jika semua tingkat pertahanan tersebut tersedia dan berfungsi.

B.2.1. Redundansi

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

B.2.2. Keragaman (*Diversity*)

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.



B.2.3 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.

B.2.4. 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.



B.2.5. Analisis Keselamatan

Sebuah metode penilaian keselamatan formal, misalnya teknik analisis bahaya probabilistik, analisis keselamatan harus digunakan. Setiap komponen dalam sistem harus dipertimbangkan. Semua jenis potensi kegagalan dan konsekuensinya secara keseluruhan harus diperhitungkan dengan mempertimbangkan keandalan prosedur operasi keselamatan. Pemilik Izin harus menunjukkan bagaimana desain irradiator dan operasional, terkait prosedur akan memberikan kontribusi pada pencegahan dan mitigasi dari 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.

B.3. Persyaratan Teknis

Pedoman desain fasilitas iradiasi agar memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan. Laju dosis atau dosis karena parameter disain direncanakan harus sesuai dengan tujuan pemanfaatan dari fasilitas tersebut.



Tingkat radiasi yang diizinkan bagi karyawan, pelanggan atau masyarakat diluar perisai biologis selama operasi fasilitas harus didasarkan pada prinsip ALARA dengan memperhitungkan setiap kendala dosis tambahan yang mungkin ditentukan untuk tujuan itu oleh pihak yang berwenang.

Pengalaman dari berbagai negara telah menunjukkan bahwa fasilitas iradiasi dapat dirancang dan dioperasikan sedemikian rupa, bahwa para pekerja yang terkena radiasi kurang dari 5 mSv per tahun. Parameter desain dasar dan fitur keselamatan terkait: sumber radiasi, perisai biologi, sistem mentransfer produk, sistem kontrol dan keselamatan, dan sistem tambahan, dibahas secara singkat di bawah ini.

B.3.1. Persyaratan Khusus Keselamatan Fasilitas MBE

Tujuan produsen iradiator untuk industri adalah kesederhanaan desain sumber berkas elektron dan kehandalan operasi.

Perawatan harus dilakukan karena kemungkinan terbentuknya sinar-X dari arus gelap, jika kemampuan percepatan fasilitas atau subsistem tetap karena tahap percepatan yang tidak tepat atau sebagian dinonaktifkan.



Fitur yang harus dipertimbangkan dalam proses desain:

- a. Sarana positif untuk menghentikan sistem percepatan utama.
 - b. *Built-in (terpasang dalam sistem) pemantauan parameter mesin.*
 - c. *Built-in sistem remote mesin diagnostik.*
- Pertimbangan perhitungan perisai hanya diberikan untuk mengurangi intensitas sinar X yang terbentuk.
 - Perhitungan ini harus dilakukan untuk energi elektron maksimum dan memperhitungkan terbentuknya gas. Untuk meminimalkan produksi sinar X, harus diupayakan digunakan bahan perisai dengan jumlah atom yang serendah mungkin. Kecuali iradiator berpelindung diri dan mesin yang beroperasi untuk tujuan khusus pada energi yang lebih tinggi, biasa menggunakan beton sebagai bahan perisai.
 - Untuk menghitung ketebalan perisai, metode dan program-program khusus telah tersedia.



Bangunan Iradiator sebagaimana dimaksud harus memenuhi:

- a. Memiliki perisai pada dinding ruangan yang berhubungan dengan anggota masyarakat sehingga Dosis Efektif yang diterima anggota masyarakat tidak melampaui 0,5 mSv/tahun atau 0,01 mSv/ minggu.
- b. Memiliki perisai pada dinding ruangan yang berhubungan dengan daerah kerja sehingga Dosis Efektif yang diterima oleh pekerja radiasi tidak melampaui 10 mSv/tahun atau 0,2 mSv/minggu.
- c. Mempertimbangkan produksi neutron dalam merancang perisai radiasi untuk Iradiator dengan Pembangkit Radiasi Pencil berenergi di atas 10MeV.
- d. Memiliki sistem keselamatan yang tidak berubah secara signifikan karena terjadi keadaan darurat.
- e. Dirancang berdasarkan laju paparan radiasi maksimum (asumsi konservatif).
- f. Dirancang dengan memperhitungkan hasil penyelidikan: tanah, perhitungan beban konstruksi, beban gempa, dan bebas banjir; dan didesain berdasarkan tingkat gempa sebesar 0,5 g (lima per sepuluh gravitasi).



B.4. Verifikasi Keselamatan terhadap Iradiator, dilakukan dengan cara:

- a. Pengujian terhadap parameter keselamatan;
- b. Program perawatan;

Pengujian terhadap parameter keselamatan dilakukan secara periodik:

- a. Uji mingguan, b. Uji bulanan, c. Uji enam bulanan.

Uji Mingguan meliputi:

- a. Pemeriksaan indikator Sistem *Interlock* pada panel kendali;
- b. Pemeriksaan tombol kedaruratan (*emergency*) pada panel kendali;
- c. Pemeriksaan tombol penghentian operasi pada ruang iradiasi dan ruang akselerator;
- d. Pemeriksaan Sistem *Interlock* pintu ruang iradiasi dan ruang akselerator.

Uji Bulanan meliputi:

- a. Pemeriksaan alat monitor (*monitor area*) ruang iradiasi.
- b. Pengujian sistem ventilasi (*exhausted blower*) ruang iradiasi.
- c. Pengujian sistem transportasi (*conveyor*) bahan/sampel radiasi.
- d. Pengujian Sistem *Interlock*.



Uji Enam Bulanan meliputi:

- a. Pengujian energi elektron.
- b. Pengujian titik berkas (*beam spot*).
- c. Pemeriksaan instalasi/kabel terkait dengan tegangan tinggi.

Perencanaan Kedaruratan

- a. Organisasi pengoperasi bertanggung jawab untuk mempersiapkan prosedur kedaruratan yang memadai secara tertulis (untuk setiap jenis darurat diramalkan) setelah dilakukan penilaian potensi bahayanya.
- b. Dalam kasus kecelakaan, organisasi pengoperasi harus memulai prosedur kedaruratan dan harus menginformasikan tentang perlindungan terhadap radiasi kepada otoritas yang kompeten.
- c. Setiap insiden harus dilaporkan kepada pejabat yang berwenang dengan jadwal waktu seperti yang telah ditentukan dalam perizinan dan tergantung pada keparahan kejadian.
- d. Kesimpulan harus diambil untuk meningkatkan keselamatan dan pembelajaran dengan perhatian khusus pada kecelakaan radiasi sebelumnya yang pernah terjadi.



TERIMA KASIH

