BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sifat - Sifat Sinar X

Salah satu sifat sinar X dan sinar γ yang paling berharga dan menguntungkan adalah dapat menembus bahan dan mengalami *atenuasi* (diserap) oleh bahan yang dilaluinya, sehingga intensitas radiasi setelah melewati bahan akan lebih kecil dibandingkan intensitas radiasi mula-mula. Pelemahan sinar-X dan sinar γ (*radiasi elektromagnetik*) secara kuantitatif berbeda dengan pelemahan sinar β. Sinar β mempunyai jangkauan tertentu dan energinya dapat diserap seluruhnya oleh medium yang dilaluinya. Sedangkan raadiasi elektromagnetik hanya dapat dikurangi intensitasnya bila perisai ini dipertebal. Proses pelemahan radiasi elektromagnetik baik sinar X maupun sinar gamma (γ) dalam bahan bersifat eksponensial. Adapun atenuasi sinar X kedalam suatu bahan tergantung dari nomor atom bahan, kerapatan bahan, ketebalan bahan, kekerasan bahan atau kalau dinyatakan dalam rumus :

$$I_t = I_0 e^{-\mu d} \qquad (2.1)$$

Dengan :

I_t adalah Intensitas radiasi setelah menembus bahan

I_0 adalah Intensitas radiasi sebelum menembus bahan (*radiaisi mula-mula*)

μ adalah koefisien linier bahan

d adalah tebal bahan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan demikian, secara sederhana bisa dikatakan bahwa benda yang berat , kerapatannya lebih tinggi , ketebalannya lebih besar dan kekerasannya lebih tinggi maka daya serapnya juga akan lebih tinggi (*Plaats, 1969*)

Dalam pembahasan mengenai perisai radiasi, masalah yang dibicarakan adalah mengenai penyerapan radiasi oleh bahan. Tiga proses utama yang terjadi dalam interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan bahan, yaitu : efek fotolistrik, hamburan compton dan produksi pasangan, menghasilkan elektron yang dalam perjalanannya akan mengionisasi bahan perisai. Dalam bahan dengan tingkat kerapatan tinggi, yaitu atom-atom berat dengan nomor atom dan nomor massa tinggi, jangkauan elektron tersebut akan sangat pendek. Oleh sebab itu, bahan-bahan dengan nomor atom tinggi sangat cocok untuk dimanfaatkan sebagai perisai radiasi elektromagnetik.

2.2 Konsep harga paro (HVL)

Nilai paro atau half value layer (*HVL*)untuk perisai radiasi tertentu adalah tebal bahan perisai yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi setengah dari intensitas mula-mula. Konsep HVL ini sangat berguna untuk menghitung secara cepat untuk mengurangi intensitas radiasi hingga tingkat tertentu. Misalnya untuk mengurangi radiasi elektromagnetik menjadi setengahnya dari intensitas mula-mula diperlukan perisai radiasi setebal 1 HVL, untuk mengurangi intensitas radiasi menjadi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

seperempatnya atau $(\frac{1}{2})^2$ dari intensitas mula-mula diperlukan 2 HVL dan unutk mengurangi intensitas radiasi menjadi seperdelapannya atau $(\frac{1}{2})^3$ dari intensitas mula-mula diperlukan perisai setebal 3 HVL.

2.3 Proteksi Radiasi

Salah satu sifat sinar-X yang diwaspadai adalah dapat menimbulkan bahaya radiasi baik stokhastik, maupun non stokhastik. Efek non stokhastik dicirikan oleh adanya dosis minimum tertentu (*dosis ambang*) yang menyebabkan suatu akibat deterministik tertentu untuk pertama kalinya dapat diamati. Keparahan akibat ini akan bertambah bila dosis diatas dosis ambangnya ditambah, sedangkan efek stokhastik seperti yang tersirat didalamnya merupakan efek yang terjadi secara kebetulan dan efek - efek itu terjadi pada orang - orang yang tidak disinari dan orang - orang yang disinari. Efek non stokhastik yang ditimbulkan akibat suatu penyinaran dilihat dari grafik.

Gambar 2.1 ***Hubungan antara keparahan akibat deterministik dengan dosis yang diterima*** (*Wiryosimin , 1995*)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Radiasi pengion yang memiliki potensi bahaya eksterna bagi manusia dan perlu mendapatkan perhatian khusus adalah radiasi elektromagnetik dan neutron. Sebagai upaya untuk mengurangi resiko dari bahaya tersebut, Perlu adanya perisai radiasi yang mampu menyerap radiasi sehingga dapat memperkecil intensitas radiasi yang lolos dan mengurangi penerimaan dosis radiasi yang diterima tubuh manusia.

Dalam upaya proteksi, yang didalamnya juga termasuk pencegahan masalah upaya terimaan dosis pada manusia menjadi perhatian utama. Ada tiga jenis penyinaran yang digunakan untuk menetapkan pembatasan terimaan dosis. Pertama *Penyinaran Kerja*, yaitu penyinaran yang terjadi ditempat kerja dan sebagai akibat melaksanakan pekerjaan yang melibatkan sumber radiasi; kedua *Penyinaran Medik*, yang pada dasarnya adalah penyinaran yang diterima oleh seseorang yang berkaitan denagan pemeriksaan kesehatan ataupun upaya penyembuhan penyakit dengan menggunakan radiasi. Penyinaran yang diterima oleh anggota masyarakat umum bukan karena pekerjaan ataupun pemeriksaan atau penyembuhan.

Dalam mengendalikan penyinaran akibat kerja ketiga cara pengawalan dan pengendalian dalam upaya proteksi radiasi dapat dilakukan, yaitu pegawalan pada sumber, lingkungan, dan pada orangnya. Pengawalan pada sumber, misalnya dilakukan dengan cara memilih sumber dengan ciri yang paling menguntungkan, menggunakan perisai radiasi dan pengungkung

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

langsung dekat sumbernya. Pengawalan pada lingkungan dapat dilakukan dengan menerapkan prosedur yang tepat, menggunakan fasilitas dan perlengkapan kerja serta pakaian proteksi yang tepat dan baik. Dalam mengawal penyinaran medik, perhatian utama berfungsinya perlengkapan atau prosedur untuk kepentingan diagnostik. Pengawalan terhadap masyarakat umum dipusatkan pada pengawalan sumber, misalnya desain instalasi yang menjadi sumber penerimaan penyinaran pada anggota masyarakat umum, pembatasan pengoperasian dan lain sebagainya. Setiap kegiatan proteksi ditujukan untuk menekan serendah mungkin penerimaan dosis oleh pekerja sehingga batasan dosis yang telah ditetapkan tidak terlampaui. Dalam setiap proses optimasi selalu ada pembatas dosis. Peralatan, perlengkapan proses dan kerja harus didesain dengan maksud agar dosis maksimum yang diterima individu berada didalam pembatas dosis yang wajar, dimana nilai ini biasanya lebih rendah dibandingkan dengan nilai batas dosis. Kesalahan-kesalahan yang mengakibatkan terjadinya pemaparan radiasi yang tidak dikehendaki pada manusia dapat terjadi pada peralatan, konstruksi, desain ruang yang tidak sesuai (*Akhadi , 2000*). Untuk perencanaan proteksi radiasi, seringkali pekerja dituntut untuk mengetahui laju dosis dari suatu sumber. Laju dosis pada tempat kerja yang berasal dari sumber eksternal biasanya diketahui melalui pengukuran dengan menggunakan alat ukur radiasi (*surveymeter*).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.4 Peraturan-Peraturan Tentang Bahaya Radiasi

Ketentuan pokok tenaga atom nasional diatur dengan undang-undang nomor 21 tahun 1964. Tenaga atom adalah adalah tenaga dalam bentuk pembelahan inti, penggabungan inti, dan transformasi inti lainnya dan termasuk pula tenaga dalam bentuk sinar-X. Masuknya sinar-X dalam pengertian atom maksudnya agar sinar-X yang mempunyai sifat yang tidak berbeda dengan radiasi pengionan dari radiasi zat radioaktif bisa mendapat perhatian yang sama (*Soekotjo dkk, 1994*).

2.4.1 Pencegahan terjadinya kecelakaan radiasi, dilakukan dengan cara:

2.4.1.1 Menghilangkan bahaya radiasi,

yang meliputi memilih sumber radiasi yang tepat, memilih cara yang paling tepat dan praktis, memeriksa peralatan radiasi yang akan digunakan.

2.4.1.2 Pengamanan bahaya radiasi,

dilakukan dengan cara memilih waktu yang paling singkat, menjaga jarak yang ideal dan menggunakan penahan radiasi dengan menempatkan penahan radiasi antara sumber radiasi dan operator. .Dalam prakteknya kombinasi antara waktu, jarak, dan penahan radiasi ternyata lebih efektif dalam perencanaan keselamatan kerja radiasi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.5 Persyaratan Kerja Dengan Sumber Radiasi:

2.5.1 Pemilihan pesawat sinar-X,

meliputi ; pesawat harus tetap ditempatnya, sedapat mungkin menghindari pemakaian peralatan yang menggunakan peralatan pesawat sinar-X.

2.5.2 Denah kamar Sinar-X,

harus memungkinkan pekerjaan dilakukan seefisien mungkin. Jendela kaca timbal yang digunakan sebagai kaca intip pada panel kontrol harus mempunyai batas pandang yang cukup, pintu dan kosen harus mempunyai ketebalan yang ekivalen dengan timbal yang digunakan untuk melapisi tembok, dan timbal pelindung yang melapisi daun pintu harus menutupi daun kosen pintu selebar sekurang-kurangnya 1,5 cm. Demikian pula proteksi yang melapisi kosen pintu harus menutupi beton atau tembok dinding dengan lebar paling kurang sama dengan tebal tembok, jendela pengamat atau kaca intip dan bingkainya harus pula didesain sedemikian rupa sehingga ketebalannya ekivalen dengan dengan timbal yang dugunakan untuk melapisi tembok.

2.5.3 Desain penahan radiasi sinar-X pada instalasi tetap,

perisai untuk sumber radiasi sinar-X *(source shielding)*, dibuat oleh pabrik pembuat tabung berupa perisai timbal yang sekaligus berfungsi sebagai wadah atau rumah tabung sinar-X, dan perisai bangunan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

(*structural shielding*), perisai bangunan dirancang dengan dua kategori yaitu perisai primer dan perisai sekunder, perisai primer memberikan perlindungan terhadap sinar guna, sinar guna adalah berkas sinar yang berasal dari fokus target.

Sedangkan perisai sekunder memberikan perlindungan terhadap radiasi bocor dan radiasi hambur. Rancangan perisai bangunan sinar-X ditentukan oleh:

1. Tegangan tabung maksimum pesawat sinar-X atau energi radiasi (*kV*).
2. Arus tabung maksimum atau intensitas radiasi (*mA*)
3. Beban pesawat (*W*) dinyatakan dalam mA-menit/minggu
4. Faktor manfaat (*U*) yang merupakan fraksi beban kerja kearah mana sinar guna ditujukan.
5. Persentase W untuk berkas utama mengarah kesuatu sisi ruangan tertentu, U
6. Faktor pemanfaatan ruang disekitar ruang penyinaran, T,T digunakan untuk dikalikan degan W, Nilai T untuk ruang yang sering digunakan sama dengan satu (*maksimum*)

Cara menentukan laju penyinaran maksimum dalam suatu ruangan pesawat sinar-X dapat dijelaskan sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$D_{maks} = \frac{P}{T} \qquad (2.2)$$

dengan P adalah dosis radiasi yang diizinkan dalam satu minggu, T adalah faktor penghunian ruang. Dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik dari jarak , maka laju penyinaran pada jarak 1 meter dari fokus adalah :

$$Di = \frac{d^2 xP}{T} \qquad (2.3)$$

dengan d^2 adalah laju penyinaran pada jarak 1 meter . Laju penyinaran sebesar ini dapat disebabkan oleh beban kerja WU dan untuk keperluan praktis didefinisikan faktor transmisi (K) :

$$K = \frac{d^2 xP}{WUT} \qquad (2.4)$$

dengan W adalah beban pesawat , U adalah faktor manfaat , T adalah faktor penghunian ruang.

Untuk menentukan tebal perisai primer cukup dengan mencari harga K, kemudian harga K yang diperoleh diplotkan pada grafik K terhadap ketebalan bahan sesuai dengan energi sinar - X yang digunakan.

2.5.4 Acuan Batas dosis yang diizinkan oleh International Comision Of Radiological Protection (*ICRP*)

Dalam menentukan dosis yang diperbolehkan baik bagi pekerja radiasi maupun bagi masyarakat umum Indonesia mengikuti ketentuan yang berlaku secara Internasional, oleh karena itu Indonesia mengikuti

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

International Comision Of Radiological Protection (ICRP) adapun menurut International Comision Of Radiological Protection (ICRP) batasan dosis yang diperbolehkan sebagaimana terlihat dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 adalah tabel batasan dosis yang diperbolehkan untuk pekerja radiasi, sedangkan untuk masyarakat umum dapat dilihat dari tabel 2.2

No	Bagian Tubuh	Dosis Maksimum
1.	Seluruh tubuh Sumsum tulang Kelenjar Kelamin	5 rem dalam 1 tahun atau 3 rem dalam 3 bulan akan tetapi dosisi seluruhnya tidak melebihi 5. (N - 18) rem (N = Umur)
2.	Kulit, Tulang, Kel. tiroid	30 rem dalam 1 tahun
3.	Tangan, lengan bagian bawah, kaki, pangkal kaki	75 rem dalam 1 tahun
4.	Bagian lain dari tubuh	15 rem dalam 1 tahun

Tabel 2.1 Batasan dosis radiasi untuk pekerja radiasi

(Widjaja, 1988)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Bagian Tubuh	Batas Dosis
Seluruh tubuh Sumsum tulang Kelenjar kelamin	0,5 rem dalam 1 tahun
Kulit, tulang Kelenjar tiroid	3 rem dalam 1 tahun anak - anak dibawah 16 tahun 1,5 rem/ 1 tahun untuk kelenjar tiroid
Tangan, lengan bagian bawah , pangkal kaki	7,5 rem dalam 1 tahun
Bagian lain dari tubuh	1,5 rem dalam 1 tahun

Tabel 2.2 Batasan dosis radiasi yang diperbolehkan diterima masyarakat umum (Curry, 1984)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)