

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Tinjauan

Radiasi adalah energi yang bergerak dalam bentuk gelombang, partikel atau berkas energi yang biasa disebut foton. Sumber radiasi bisa berasal dari zat radioaktif dan alat/mesin pembangkit radiasi. Pada saat proses disintegrasi, inti radioaktif akan memancarkan radiasi. Tiga tipe radiasi yang berhubungan dengan proses peluruhan inti radioaktif yaitu radiasi α , radiasi β dan radiasi γ (Salman Suprawardhana, 1983).

Energi radiasi telah dimanfaatkan dalam banyak bidang seiring pengembangan ilmu dan teknologi nuklir, selain itu radiasi juga memiliki potensi yang dapat membahayakan manusia. Untuk mengurangi bahaya yang timbul maka ditetapkan prosedur proteksi yang memiliki tiga pokok usaha pencegahan yaitu :

- a. meminimalkan waktu penyinaran
- b. memaksimalkan jarak dari sumber radiasi
- c. pembuatan perisai radiasi.

Ketiga prosedur proteksi tersebut dapat digunakan salah satu atau bersamaan tergantung dari jenis radiasi.

Beton merupakan perisai radiasi yang efektif untuk mengurangi intensitas radiasi pengion yang melewatinya. Menurut Edward G Navy (1985) sebagai perisai radiasi beton dirancang untuk mencapai salah satu atau lebih dari tujuan sebagai berikut :

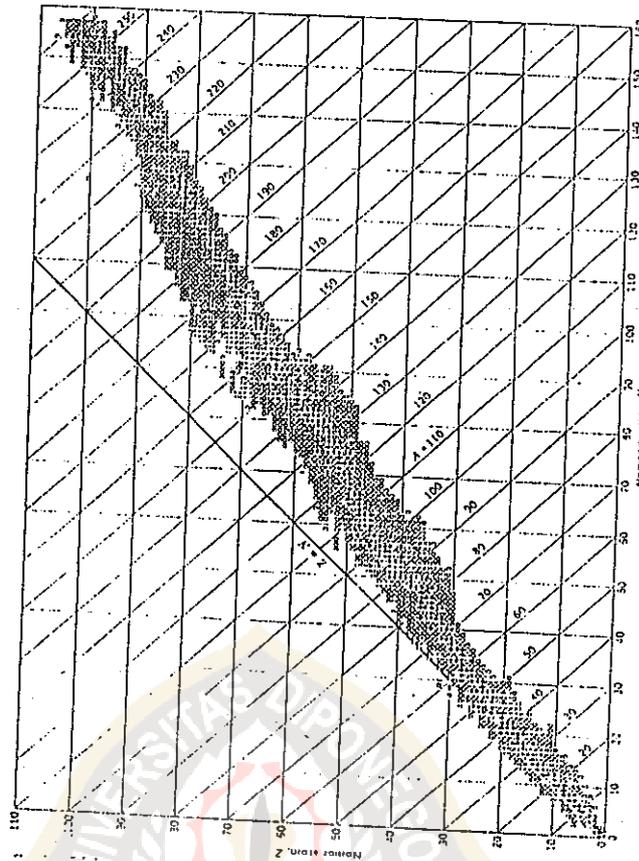
- a. tingkat kemudahan dalam pengerjaan
- b. kekuatan tekan
- c. sifat awet beton yang sudah mengeras.

II.2. Radioaktifitas

II.2.1. Kaidah umum

Beberapa inti atom memiliki sifat spesifik yaitu kemampuan untuk bertransformasi sendiri secara spontan dari suatu inti yang memiliki nomor massa dan nomor atom tertentu menjadi inti yang berbeda. Inti-inti dalam keadaan yang tidak stabil mengalami proses disintegrasi sehingga kestabilannya tercapai (Kenneth Krane, 1982).

Gambar 2.1 memperlihatkan gambaran Z terhadap N untuk semua inti atom yang dikenal sampai dengan tahun 1983 (David Halliday, 1990). Lingkaran hitam menyatakan inti stabil, lingkaran kelabu menyatakan inti radioaktif yang berumur panjang (waktu paruh > 100 tahun) dan lingkaran terbuka menyatakan inti radioaktif yang berumur pendek (waktu paruh < 100 tahun). Terlihat bahwa kebanyakan inti yang telah diidentifikasi adalah inti radioaktif yang bisa bertransformasi menjadi inti stabil.



Gambar 2.1. Diagram neutron-proton untuk inti atom.

Laju peluruhan inti atom induk persatuan waktu sebanding dengan cacah inti atom induk pada saat itu (Arthur Beiser, 1981). Apabila atom induk pada saat t adalah N_t maka dapat dituliskan :

$$R = - \frac{dN_t}{dt} \quad (2.1)$$

R = Aktivitas inti radioaktif (becquerel)

Becquerel adalah satuan yang digunakan untuk menyatakan banyaknya kejadian persatuan waktu. Dalam waktu tertentu aktiitas inti radioaktif berkurang secara eksponensial. Perubahan aktivitas terhadap waktu dapat dituliskan sebagai

$$R_t = R_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

R_0 = aktivitas inti induk pada saat $t = 0$

e = 2,718218

t = waktu

Konstanta peluruhan λ masing-masing inti mempunyai harga yang berbeda.

Umur paroh suatu radioaktif adalah waktu yang dibutuhkan agar aktivitas R_t berkurang menjadi setengah dari aktivitas semula ($1/2 R_0$). Sehingga persamaan 2.2 dapat dituliskan kembali sebagai berikut :

$$R_t = 1/2 R_0 = R_0 e^{-\lambda t}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.3)$$

T adalah umur paroh dari zat radioaktif.

Persamaan 2.1 menunjukkan banyaknya inti yang meluruh persatuan waktu sebanding dengan banyaknya inti

yang ada pada saat itu. Ini berarti

$$dN_t = - N \lambda dt \quad (2.4)$$

tanda negatif menunjukkan berkurangnya N ketika t bertambah. Persamaan 2.4 dapat ditulis kembali sebagai

$$\frac{dN}{N} = - \lambda dt$$

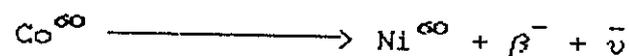
dengan mengintegrasikan masing-masing ruas didapat

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.5)$$

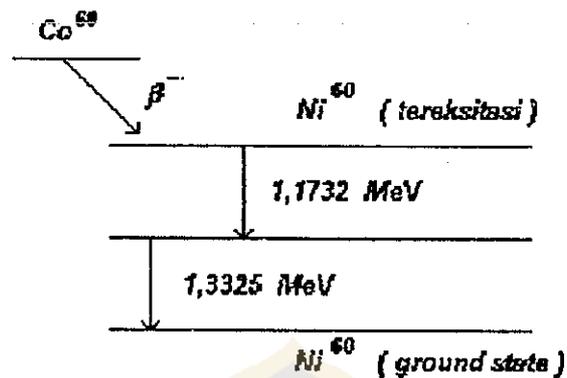
Persamaan 2.5 memberikan gambaran banyaknya inti yang tidak meluruh N pada waktu t dinyatakan dalam peluang persatuan waktu λ dari inti radioaktif.

II.2.2. Peluruhan Gamma

Setelah inti memancarkan zarah β^+ , β^- , α atau setelah peristiwa tangkapan elektron, inti atom tersebut akan berada dalam kondisi tereksitasi. Inti atom yang tereksitasi akan segera menuju keadaan dasar (*ground state*) dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang biasa dipandang sebagai paket-paket catu daya yaitu foton- γ (Wisnu Susetyo, 1988). Sebagai contoh suatu peluruhan- γ , ditinjau Co^{60} yang meluruh menjadi Ni^{60} melalui peluruhan β^- :



Skema peluruhan Co^{60} seperti terlihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Skema peluruhan Co^{60}

Deeksitasi suatu anak luruh bisa terjadi melalui pancaran- γ tunggal atau melalui suatu riam (*cascade*) dari beberapa sinar- γ yang terletak di antara beberapa tingkat tenaga. Gambar 2.2 menunjukkan adanya dua sinar- γ berturut-turut secara riam dengan tenaga 1,1732 MeV kemudian disusul sinar- γ dengan tenaga 1,3325 MeV. Bisa juga terjadi suatu proses deeksitasi melalui dua cara tersebut di atas secara bersama yang biasa disebut percabangan- γ (*gamma branching*).

II.3. Interaksi Sinar Gamma dengan Materi

Sinar- γ adalah radiasi gelombang elektromagnetik monokromatis yang dipancarkan secara diskrit oleh inti

atom tereksitasi. Emisi sinar- γ dari peluruhan zat-zat radioaktif biasanya disertai peluruhan α dan β . Bila terjadi interaksi dengan materi energi foton yang dipakai adalah sebesar

$$E = h \nu \quad (2.6)$$

h adalah konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s) sementara ν adalah frekuensi foton (Salman Suprawardhana, 1983).

Ionisasi yang terjadi akibat interaksi sinar- γ dengan materi lebih banyak dibanding ionisasi hasil interaksi partikel bermuatan dengan materi, hal ini terjadi karena elektron yang dibebaskan masih mempunyai energi yang cukup untuk mengionisasi atom yang lain. Tiga proses utama penghilangan energi atau penyerapan foton oleh materi yaitu : efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan (Wisnu Susetyo, 1988).

II.3.1. Efek Fotolistrik

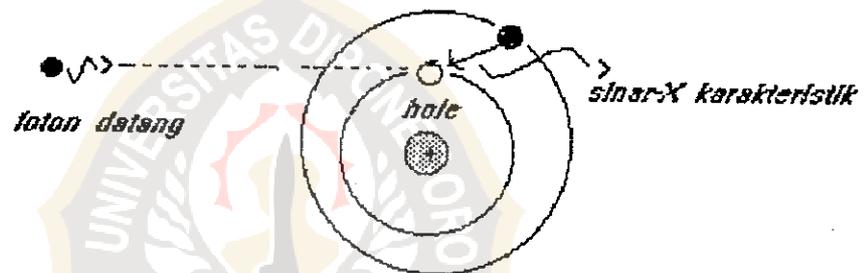
Efek fotolistrik adalah interaksi foton- γ dengan elektron yang terikat kuat dalam atom. Elektron yang berinteraksi akan menyerap seluruh tenaga foton- γ . Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton- γ dan tenaga ikat elektron, terlihat dalam persamaan 2.7.

$$E_e = E_\gamma - W \quad (2.7)$$

E_e = tenaga kinetik elektron

E_γ = tenaga foton- γ

W = tenaga ikat elektron.



Gambar 2.3. Efek Fotolistrik

Gambar 2.3 menunjukkan proses terjadinya efek fotolistrik, elektron yang terpancar disebut *fotoelektron*. Atom yang berinteraksi berada dalam keadaan tereksitasi, lowongan (*hole*) yang ditinggalkan fotoelektron akan terisi oleh elektron pada kulit yang lebih luar demikian seterusnya. Penataan konfigurasi elektron mengakibatkan terjadinya pancaran sinar-X karakteristik. Selain itu terjadi pula elektron *Auger* yang terjadi karena sinar-X

yang memiliki tenaga cukup besar mampu mengeluarkan elektron dari dalam pada saat bertumbukan.

Kebolehjadian suatu foton- γ untuk berinteraksi melalui efek fotolistrik dinyatakan dalam suatu besaran yang disebut *tampang efek fotolistrik* (τ) yang besarnya

$$\tau = C \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} \quad (2.8)$$

C = tetapan

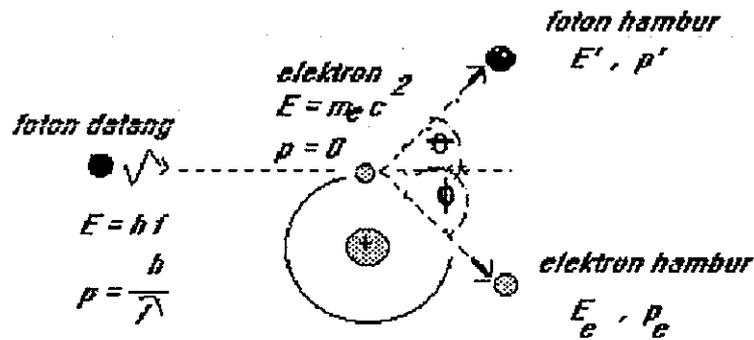
Z = nomor atom materi yang berinteraksi

E_γ = energi foton- γ

Persamaan 2.8 menunjukkan bahwa kebolehjadian terjadinya efek fotolistrik semakin besar dengan kenaikan nomor atom materi yang berinteraksi dan semakin kecil dengan kenaikan energi foton- γ . Hal ini menyebabkan efek fotolistrik dominan terjadi pada tenaga foton- γ rendah, yaitu sampai tenaga ± 100 keV.

II.3.2. Hamburan Compton

Pada saat terjadi interaksi dengan materi, foton dihamburkan oleh elektron hampir lepas yang terikat lemah pada atomnya. Sebagian energi dipakai elektron sehingga terlepas dari atom, sisa energi diteruskan sebagai energi elektromagnetik.



Gambar 2.4. Hamburan Compton

Foton- γ yang kehilangan sebagian energinya terhambur menurut sudut θ terhadap arah datangnya. Elektron yang dilepaskan disebut *elektron Compton*. Energi foton- γ yang terhambur setelah terjadinya tumbukan adalah fungsi energi- γ mula-mula dan sudut hamburnya :

$$E_\gamma = \frac{E_0}{1 + (E_0 / m_0 c^2)(1 - \cos \theta)} \quad (2.9)$$

E_γ = energi- γ terhambur

E_0 = energi- γ mula-mula

m_0 = massa diam elektron

c = kecepatan cahaya dalam hampa

θ = sudut hamburan

Berdasar pada hukum kekekalan tenaga, maka besarnya tenaga elektron Compton adalah selisih energi- γ mula-mula dan energi- γ terhambur :

$$E_e = E_0 - E_\gamma \quad (2.10)$$

Substitusi harga E_γ ke dalam persamaan 2.10 menghasilkan

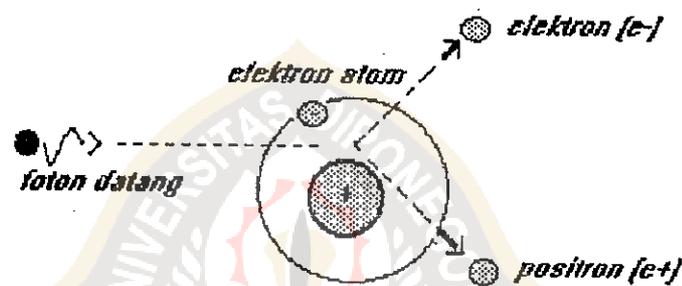
$$E_e = E_0 \left[\frac{(E_0/m_0 c^2)(1 - \cos \theta)}{1 + (E_0/m_0 c^2)(1 - \cos \theta)} \right] \quad (2.11)$$

Kebolehjadian hamburan merupakan fungsi dari sudut dan tenaga. Secara umum dapat dinyatakan naiknya angka kebolehjadian akan terjadi pada saat sudut hambur kecil dan tenaga foton- γ tinggi. Kebolehjadian total terjadinya hamburan bergantung pada jumlah elektron yang ada, dengan kata lain besar kecilnya angka kebolehjadian total dipengaruhi oleh nomor atom Z dari materi yang berinteraksi. Kebolehjadian total hamburan Compton dibedakan menjadi dua jenis yaitu koefisien hamburan Compton (σ_s) dan koefisien absorpsi Compton (σ_a).

II.3.3. Produksi Pasangan

Apabila foton bergerak dekat inti atom maka secara spontan akan menghilang, dan energinya akan muncul kembali

menjadi sepasang partikel bermassa sama tapi memiliki muatan yang berbeda, yaitu elektron yang bermuatan negatif dan positron yang bermuatan positif. Proses ini merupakan penggambaran dari penciptaan energi massa, karena elektron yang timbul akibat interaksi bukan merupakan elektron dari atom yang berinteraksi.



Gambar 2.5. Produksi Pasangan

Hilangnya tenaga foton- γ dapat digambarkan sebagai

$$hf_{\gamma} = E_{+} + E_{-}$$

$$E_{\text{tot}} = (m_{e}c^2 + K_{+}) + (m_{e}c^2 + K_{-}) \quad (2.11)$$

Dalam hal ini K_{+} dan K_{-} selalu positif dan proses yang terjadi merupakan perubahan energi elektromagnetik menjadi

energi diam, karena energi diam dari e^- dan e^+ 0,51 MeV, maka produksi pasangan hanya bisa terjadi bila foton memiliki energi sekurang-kurangnya $2m_0c^2$ atau 1,02 MeV. Foton yang memiliki energi sebesar itu termasuk dalam sinar gamma yang merupakan pancaran inti radioaktif dan sinar kosmik.

Proses sebaliknya bila elektron dan positron bertemu akan tercipta sepasang foton. Kejadian ini dinamakan proses pemusnahan (*annihilasi*). Proses ini bisa terjadi dengan syarat, bila E_1 dan E_2 masing-masing merupakan energi foton, maka

$$(m_0c^2 + K_+) + (m_0c^2 + K_-) = E_1 + E_2 \quad (2.13)$$

karena K_- dan K_+ sangat kecil maka elektron dan positron dapat dianggap diam, maka kekekalan momentum mensyaratkan bahwa kedua foton memiliki energi yang sama sebesar m_0c^2 , dan bergerak segaris dengan arah yang berlawanan.

II.4. Sifat Atenuasi Materi

Sifat atenuasi suatu materi adalah kemampuan materi tersebut untuk menyerap atau mengurangi intensitas radiasi yang datang mengenai permukaannya. Sifat ini sering disebut sebagai sifat absorpsi terhadap radiasi. Dalam prosedur proteksi radiasi, pengetahuan mengenai sifat atenuasi suatu materi sangat penting dalam rangka

pemilihan dan pembuatan bahan pelindung (*shielding material*) (Marsongkohadi, 1983).

Hilangnya tenaga foton- γ diakibatkan oleh interaksi yang terjadi antara materi dengan sinar radiasi yang melewatinya. Dalam interaksi ini terjadi tiga proses utama, yaitu: efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Ketiga proses tersebut mempengaruhi kemampuan materi dalam menyerap radiasi (Irving Kaplan, 1963). Koefisien atenuasi total suatu materi dapat dituliskan sebagai,

$$\mu = \tau + \sigma + K \quad (2.14)$$

μ = koefisien atenuasi total linier

τ = koefisien atenuasi karena absorpsi fotolistrik

σ = koefisien atenuasi karena efek Compton

K = koefisien atenuasi karena produksi pasangan.

Koefisien atenuasi massa dari materi serap adalah,

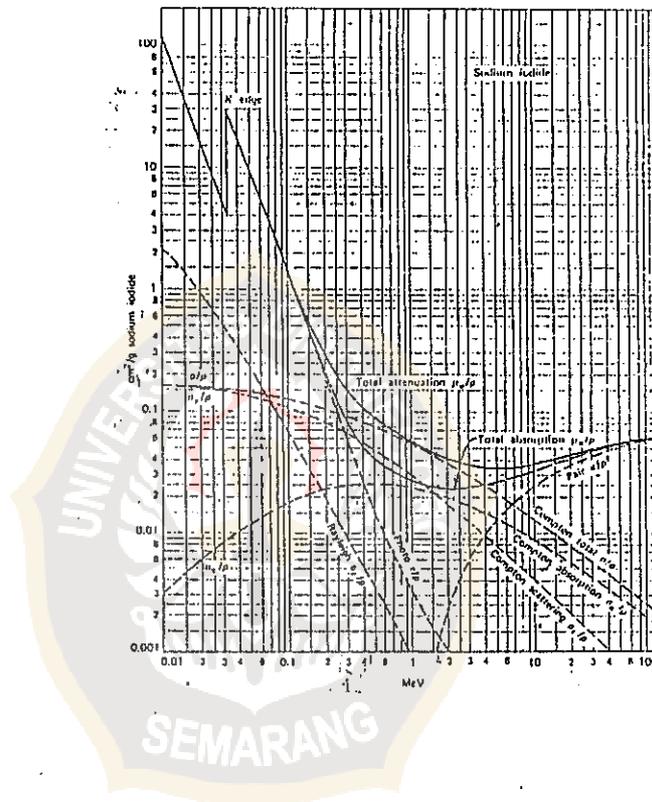
$$\mu = \rho \frac{N}{A} (\tau + \sigma + K) \quad (2.15)$$

ρ = densitas materi

N = bilangan avogadro ($6,0225 \times 10^{-23}$)

A = nomor massa atom

Kebolehjadian pada proses interaksi dengan partikel target (materi) bervariasi dengan proses yang terlibat dan energi dari partikel yang datang (Arthur Beiser, 1981). Hubungan antara harga kebolehjadian interaksi dan ketiga koefisien serap materi diperlihatkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Harga koefisien absorpsi radiasi foton- γ

Gambar menjelaskan adanya pengaruh energi foton- γ pada harga koefisien atenuasi materi, hal ini sangat dipengaruhi oleh besar kecilnya angka kebolehjadian terjadi interaksi pada tingkat tenaga- γ tertentu (Hans Kiefer dan Rupprecht Masushart, 1972).

Dimensi koefisien serap μ dan materi serap x selalu berkebalikan. Yaitu jika materi serap dinyatakan dalam centimeter, maka koefisien serap (μ) harus berdimensi per centimeter dan jika x dinyatakan dalam g/cm^2 maka koefisien serapnya berdimensi cm^2/g yang lebih dikenal dengan sebutan koefisien pelemahan massa (μ_m). Hubungan dari keduanya dinyatakan dalam persamaan :

$$\mu (\text{cm}^{-1}) = \mu_m (\text{cm}^2/\text{g}) \times \rho (\text{g/cm}^3) \quad (2.16)$$

ρ adalah densitas (kerapatan) materi penyerap. Fraksi dari berkas sinar- γ insiden yang dilemahkan oleh suatu atom tunggal biasa disebut koefisien pelemahan atom (μ_a). Koefisien pelemahan atom dapat didefinisikan dengan

$$\mu_a = \frac{\mu}{N} \quad (2.17)$$

N adalah jumlah atom penyerap per cm^3 . Dimensi μ_a adalah cm^2 yang merupakan satuan luas, karena itu koefisien pelemahan atom lebih dikenal sebagai sayatan melintang. Persamaan 2.17 dapat dituliskan kembali dalam bentuk :

$$\mu = \sigma \times N \quad (2.18)$$

σ = sayatan melintang (barn)

Barn adalah satuan luas yang sering dipakai karena lebih praktis, $1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$ (Herman Cember, 1983).

II.5. Prosedur Proteksi Radiasi

II.5.1. Proses Reduksi Radiasi- γ

Menghilangkan radiasi tidak mungkin dilakukan, karena sama artinya dengan menghilangkan sumber radiasi itu sendiri. Dalam upaya mengurangi bahaya radiasi yang bisa dilakukan adalah memperkecil intensitas radiasi yang diterima makhluk hidup sehingga tidak membahayakan lagi.

Pada interaksi foton- γ dengan materi terjadi tiga proses utama yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Bila I_0 dan I_x masing-masing adalah intensitas sinar- γ sebelum berinteraksi dengan materi dan intensitas pada kedalaman x dalam materi, maka :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.19)$$

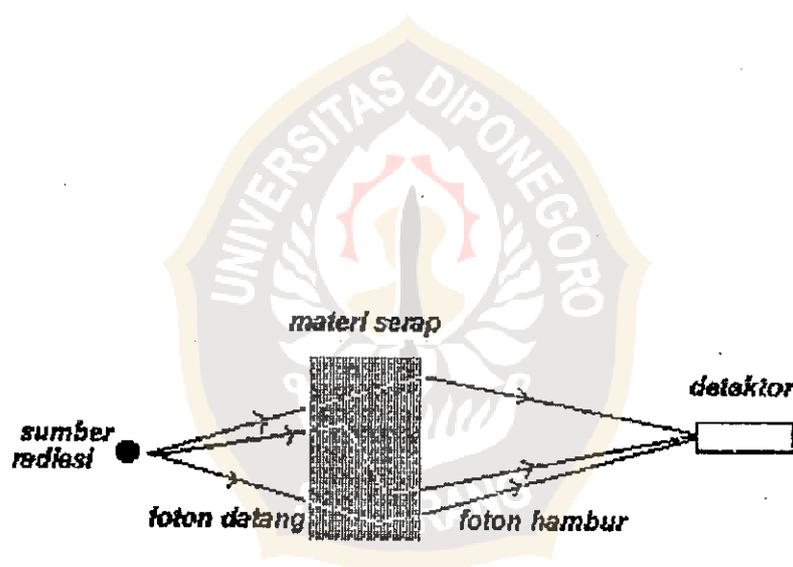
x adalah ketebalan materi dan μ adalah koefisien serap linier. Ketebalan materi serap hingga intensitas yang keluar menjadi setengah dari intensitas datang disebut HVL (Half Value Layer = harga paro lapisan). Dari persamaan 2.19 dapat ditentukan besarnya HVL sebagai,

$$\frac{1}{2} I_0 = I_0 e^{-\mu \text{HVL}}$$

$$\ln \frac{1}{2} = e^{-\mu \text{HVL}}$$

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu} \quad (2.20)$$

Menurut Glenn F. Knoll (1979) pada kondisi geometri penyerap yang baik sejumlah besar foton yang berinteraksi akan ditiadakan sehingga tidak dapat terdeteksi. Untuk penyerap dengan kondisi geometri buruk atau relatif tebal persamaan 2.19 tidak valid lagi karena foton-foton yang sudah disebarkan dalam materi serap dapat disebarkan kembali setelah tumbukan yang kedua dan seterusnya sehingga radiasi yang dapat mencapai detektor memiliki harga yang lebih tinggi.



Gambar 2.7. Penyerapan foton- γ pada kondisi geometri buruk

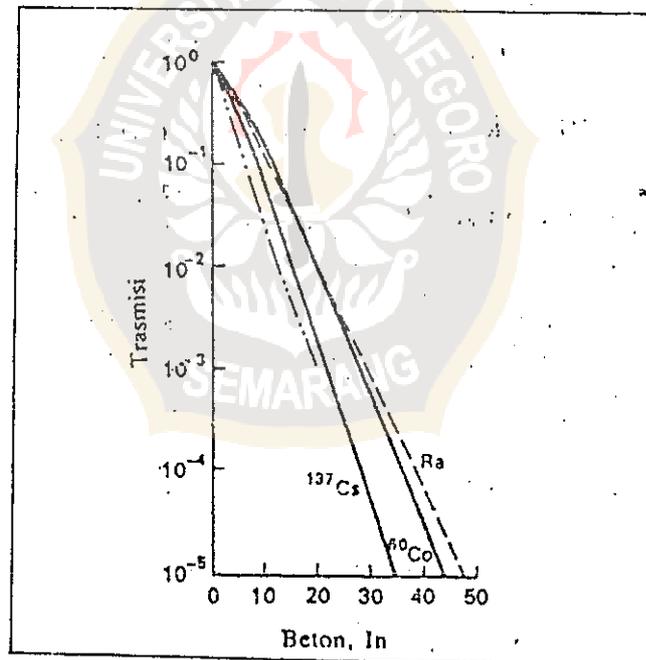
Keadaan seperti ini disebut dengan *Build up faktor* yang merupakan faktor koreksi yang dimiliki oleh materi penyerap, sehingga persamaan 2.19 dapat dituliskan kembali

dengan faktor koreksi sebagai berikut,

$$I(x) = B(\mu x) \times I_0 e^{-\mu x} \quad (2.21)$$

Harga dari build up faktor B dipengaruhi oleh koefisien atenuasi materi, ketebalan materi penyerap, energi foton- γ yang berinteraksi dan geometri dari sumber radiasi (Salman Suprawardhana, 1983).

Pelemahan tenaga foton- γ ketika berinteraksi dengan baton dapat dilihat pada gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8. Transmisi bagian foton- γ yang melewati beton

Menurut Herman Cember (1983) untuk meneruskan 10% dari radiasi Co^{60} , gambar 2.8 memperlihatkan bahwa, pada kondisi geometri yang baik diperlukan beton pelindung setebal 7 inchi. Sebaliknya, untuk berkas menyebar pada kondisi geometri buruk beton setebal ini akan meneruskan sekitar 25% dari radiasi yang mengenainya sedang untuk meneruskan 10% berkas radiasi dibutuhkan beton dengan ketebalan 11 inchi.

II.5.2. Dosis Maksimum

Dalam upaya mengurangi bahaya radiasi yang ada dengan pertimbangan prosedur keselamatan kerja dan lingkungan radiasi, pemerintah Republik Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Pemerintah Nomor 11 tahun 1975 tentang Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi dan Peraturan Pemerintah Nomor 12, tahun 1975 tentang izin Pemakaian Zat Radioaktif dan Sumber Radiasi Lainnya serta Peraturan Pemerintah Nomor 13, tahun 1975 yang mengatur tentang Pengangkutan Zat Radioaktif.

ICRP (International Commission on Radiological Protection) mendefinisikan dosis maksimum yang diterima untuk perseorangan sebagai dosis radiasi akumulasi selama jangka waktu yang lama karena hasil dari satu kali pemaparan tidak mungkin memberikan kerusakan somatik ataupun genetik (Ridwan Mohammad).

Ditentukan pula dosis akumulasi maksimum kuartalan (periode 13 minggu) sebesar 1,25 Rem dan dosis akumulasi

maksimum tahunan sebesar 5 Rem. Rumus dosis maksimum yang diperkenankan untuk orang dengan umur N tahun adalah

$$D = 5 (N - 18) \text{ Rem} \quad (2.22)$$

N = usia pekerja radiasi dalam tahun ($N > 18$)

D = dosis akumulasi maksimum selama bekerja

Rem = Roentgen Equivalent Man

Rem adalah satuan yang digunakan untuk mengetahui pengaruh radiasi terhadap tubuh. Pada tahun 1965 ICRP memberikan rekomendasi limit dosis radiasi yang diterima dibagi dalam dua katagori, yaitu pekerja radiasi dan masyarakat umum .

II.5.3 Prinsip Proteksi Radiasi

Menghilangkan bahaya radiasi tidak mungkin dilakukan, maka setiap program pengawasan atau prosedur proteksi dilakukan untuk mengurangi pemapran luar maupun dalam serenda mungkin. Dalam kondisi umum dosis radiasi yang diterima harus lebih rendah dari dosis maksimum yang telah ditentukan.

Berdasarkan pada beberapa faktor yang menentukan pemaparan radiasi, maka setiap prosedur proteksi radiasi harus mencakup keseimbangan antara keuntungan (*benefit*) yang akan didapat dari penggunaan radiasi atau energi nuklir dengan resiko dari pemaparan radiasi. Menurut Salman Suprawardhana (1983) Tiga faktor utama yang mempengaruhi pemeparan radiasi, yaitu:

a. Faktor Waktu

Makin lama seseorang berada dalam medan radiasi, makin besar pemaparan dan dosis serap yang diterima. Faktor ini menjadi penting bila terjadi kecelakaan atau kesalahan prosedur sehingga pekerjaan harus dilakukan dalam medan radiasi yang luas. Bila kerapatan pemaparan adalah Q R/jam dan waktu yang digunakan dalam medan radiasi adalah t jam, maka hubungan antara pemaparan dan waktu dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Pemaparan} = Q \times t \text{ Roentgen} \quad (2.22)$$

b. Faktor Jarak

Semakin jauh jarak seseorang dari daerah radiasi maka makin sedikit jumlah radiasi yang diterimanya. Jumlah radiasi yang diterima berbanding terbalik /dengan jaraknya.

c. Faktor Pelindung

Bila harus bekerja pada jarak yang dekat dengan sumber radiasi dan dalam waktu yang lama, penggunaan pelindung sangat efektif untuk mereduksi pemaparan serendah mungkin. Kefektifan pelindung ditentukan oleh macam energi radiasi yang melewatinya dan besar kecilnya nomor atom pelindung yang memungkinkan terjadinya interaksi radiasi dengan materi. Materi pelindung yang digunakan pada radiasi elektromagnetik (sinar-X dan sinar- γ) ialah bahan yang mempunyai rapat materi tinggi, seperti Pb, U, Au, Fe, Cr

dan Ni atau campuran dari bahan-bahan tersebut. Radiasi krosposkuler (partikel α dan β) mempunyai jarak jangkauan pasti sehingga seluruhnya dapat terserap dalam materi. Jadi pada prinsipnya bila materi pelindung bisa mereduksi radiasi elektromagnetik dengan baik maka dapat dipastikan radiasi krosposkuler dapat tertahan seluruhnya oleh pelindung. Salah satu campuran bahan pelindung yang efektif dan ekonomis adalah beton berat, yaitu campuran yang terdiri dari bahan susun semen, air dan agregat yang berupa besi pecah, limonit, magnetit atau batuan barit (Edward G. Nawy, 1985).

II.6. Beton

II.6.1. Pengertian Umum

Beton adalah suatu komposisi yang terdiri dari tiga campuran utama yaitu semen, air dan agregat serta bila diperlukan bisa ditambahkan bahan pendukung (*admixture*). Bahan susun tersebut akan menghasilkan campuran yang plastis, sehingga dapat dengan mudah dituang ke dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Terjadinya proses *dehidrasi* pada semen portland dan air menyebabkan campuran menjadi padat dan keras. Sementara agregat kasar dan agregat halus tidak mengalami dehidrasi karena didalam beton kedua bahan susun ini hanya berfungsi sebagai pengisi ruang atau bahan yang diikat oleh semen setelah terjadi proses pengerasan.

Menurut Kardiono (1995) Kekuatan, keawetan dan sifat-sifat beton yang lain tergantung pada bahan dasar penyusun, nilai perbandingan bahan, cara pengadukan, cara pengerjaan selama penuangan, cara pemadatan dan cara perawatan selama proses pengerasan. Campuran beton yang baik harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain kekuatan (*strength*) tinggi, tahan lama (*durability*) dan kemudahan dalam pengerjaan (*workability*).

Pada beton yang dipakai sebagai pelindung terhadap sinar-X, sinar gamma dan neutron kreterian yang digunakan adalah kerapatan atau kepadatan campuran, bukan kemudahan pengerjaannya. Untuk memperoleh kerapatan maksimum digunakan biji magnetit atau baja pecah halus sebagai pengganti pasir dan baja pecah, magnetit, barit sebagai pengganti batu (Edward G. Nawy, 1985).

II.6.2. Bahan Susun Beton

1. Air

Di dalam campuran beton air sangat berpengaruh pada kekuatan dan kemudahan pembuatan beton. Tujuan digunakannya air adalah untuk mengerasakan campuran semen portland dan bahan pengisi karena adanya proses dehidrasi selama perawatan beton.

Air untuk pembuatan beton tidak boleh mengandung lebih dari 2% bagian yang berupa minyak, asam, garam, alkali, bahan organik dan bahan lain yang dapat mengurangi

kekuatan beton lebih dari 20% (Sutarno, 1992). Air yang bisa digunakan adalah air bersih yang dapat diminum, tawar, tidak berasa dan tidak keruh bila dihembus udara. Tapi bukan berarti air yang tidak dapat diminum tidak dapat digunakan.

Dalam Peraturan Beton Indonesia 1971, secara umum air yang dapat digunakan sebagai bahan campuran beton adalah air yang bila digunakan akan menghasilkan beton dengan kekuatan lebih dari 90% kekuatan beton yang menggunakan air suling sebagai bahan susunnya.

2. Semen

Menurut Sutarno (1992) semen *portland* yang biasa digunakan sebagai bahan susun beton adalah hasil campuran antara material *calcareous* seperti *limestone* atau *chalk*, dan material *agrillaceous* serta *silica* dan *alumina* yang terdapat sebagai lempung atau *shale* dan juga besi oksida. Bahan utama campuran dalam semen portland (Peraturan Semen Portland Indonesia) adalah sebagai berikut :

- a. Trikalsium Silikat (C_3S)
- b. Dikalsium Silikat (C_2S)
- c. Trikalsium Aluminat (C_3A)
- d. Tetrakalsium Aluminoforit (C_4AF)

Semen portland merupakan bahan ikat untuk campuran beton plesteran dan adukan pasangan. Semen yang dipakai dalam pembuatan beton mempunyai sifat dapat terbentuk dan

mengeras dalam air melalui proses kimia dan dehidrasi, sehingga disebut semen hidrolis. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam pengikatan semen adalah :

- a. Kehalusan semen, semakin halus butiran akan semakin cepat waktu pengikatan.
- b. Jumlah air, semakin sedikit jumlah air makin cepat waktu pengikatan.
- c. Temperatur, waktu pengikatan semakin cepat bila temperatur bertambah.
- d. Penambahan bahan kimia (*Admixture*).

3. Agregat

Agregat merupakan komponen campuran yang sangat penting dan menentukan kekuatan serta kepadatan beton. Pada beton biasanya terdapat 60% sampai 80% volume agregat yang berfungsi mengisi ruang di dalamnya. Sebagai bahan susun, agregat harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen dan padat. Dua jenis agregat yang biasa digunakan adalah :

- a. Agregat kasar (kerikil dan batu pecah),
- b. Agregat halus (pasir alami atau pasir buatan).

Dalam penelitian ini akan digunakan agregat halus dengan pertimbangan faktor kemudahan pengerjaan (*Workability*). Gradasi agregat halus harus lebih besar

dari 0,15 mm dan lebih kecil dari 5 mm serta berupa butir-butir yang tajam dan keras. Agregat harus bersifat kekal, keras, tahan terhadap keausan, kandungan lumpur tidak lebih dari 5% berat keringnya, tidak mengandung bahan organik dan tahan terhadap perubahan cuaca.

