

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Sumber Radiasi

Ada bermacam-macam sumber radiasi yang secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua yaitu sumber radiasi alam dan sumber radiasi buatan.

Sumber radiasi alam pada dasarnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu sumber radiasi yang berasal dari sinar kosmik dan dari unsur radioaktif (BATAN, 1996) :

Sumber radiasi yang berasal dari sinar kosmik mempunyai energi tinggi (10^{17} eV). Dalam proses reaksinya dengan atmosfer dan bumi, sinar kosmik menghasilkan radionuklida, misalnya : ${}^3_1\text{H}$, ${}^7_4\text{Be}$, ${}^{10}_4\text{Be}$, ${}^{22}_{11}\text{Na}$.

Sumber yang berasal dari unsur radioaktif terdapat di kerak bumi yang terbentuk sejak terjadinya bumi, misalnya : ${}^{40}_{19}\text{K}$, deret Uranium, dan deret Thorium.

Sumber radiasi buatan adalah radiasi yang timbul karena berhubungan dengan kegiatan manusia, seperti penyinaran dibidang medik, radiasi yang diperoleh pekerja radiasi di fasilitas nuklir, dan radiasi yang berasal dari kegiatan di bidang industri.

2.2 Pengertian Radiasi

Radiasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses pelepasan energi secara spontan oleh atom-atom dengan kecepatan yang sangat tinggi dan

frekuensi tertentu. Radiasi dapat dibedakan menjadi dua yaitu radiasi korpuskuler dan radiasi elektromagnetik.

Radiasi korpuskuler merupakan suatu proses pancaran atau aliran energi atom-atom atau partikel sub atom yang mampu untuk memindahkan energi kinetiknya ke bahan-bahan yang ditumbuk, radiasi jenis ini bila berinteraksi dengan medium maka dapat mengionisasi medium yang dilaluinya. Sedangkan radiasi elektromagnetik adalah suatu pancaran gelombang yang dapat menyebabkan perubahan atom-atom bahan yang dilaluinya. Pancaran gelombang ini terjadi karena adanya osilasi secara simultan antara gelombang listrik dengan gelombang magnetik. Radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang di bawah 100 Angstrom dapat mengionisasi medium yang dilaluinya. Sedangkan yang mempunyai panjang gelombang di atas 100 Angstrom tidak dapat mengionisasi medium yang dilaluinya (Beiser,1990 dan Cember,1983).

Radiasi yang tidak dapat mengionisasi medium yang dilaluinya disebut radiasi tak mengion. Radiasi yang dapat mengionisasi medium yang dilaluinya disebut radiasi pengion misalnya radiasi α , β , γ dan radiasi sinar-X.

2.2.1 Sinar Gamma

Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik monokromatis. Sinar gamma dipancarkan dari inti atom yang tereksitasi melalui proses peluruhan radioaktif. Sinar gamma mempunyai panjang gelombang antara 10^{-11} m sampai 10^{-15} m, tidak bermuatan, memiliki daya tembus besar, dapat menembus lapisan baja, merusak jaringan

tubuh, dan dapat menghitamkan film. Sinar gamma memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan cahaya yaitu $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ dan memiliki daya ionisasi yang kecil (Cember, 1983 dan Beiser, 1990).

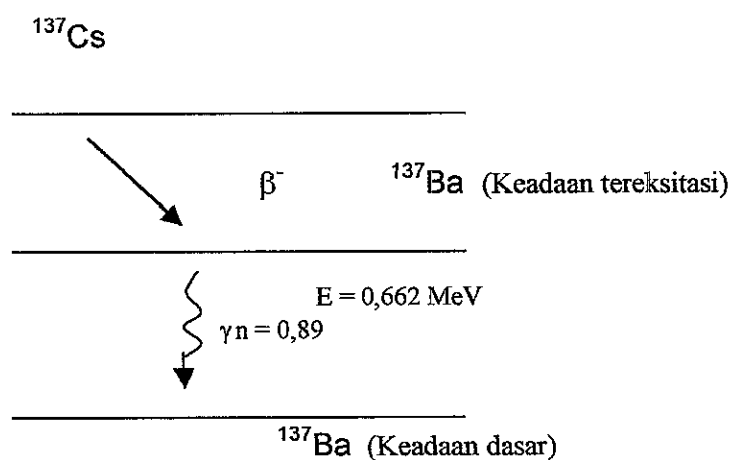
2.2.2 Pembentukan Sinar Gamma

Terbentuknya sinar gamma dapat terjadi dari hasil disintegrasi inti atom, misalnya ^{137}Cs yang mengalami disintegrasi dengan memancarkan β^- membentuk inti baru ^{137}Ba yang memiliki tingkat energi tinggi. Karena inti atom dalam keadaan tak stabil, maka terjadi peralihan ke tingkat energi yang lebih rendah atau ke tingkat energi dasar dengan memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik yang disebut sinar gamma, sebagai contoh peluruhan γ dari ^{137}Cs menjadi ^{137}Ba dengan memancarkan β^-



dengan ν adalah antineutrino dan β^- adalah elektron.

isotop ^{137}Cs berdisintegrasi menjadi ^{137}Ba dengan memancarkan zarah β^- dalam keadaan tereksitasi (gambar 2.1).



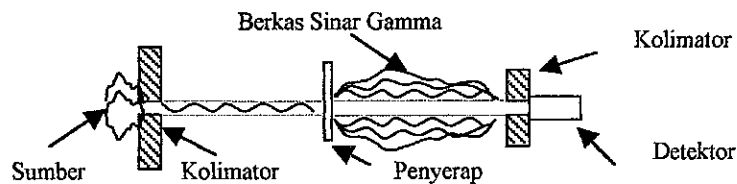
Gambar 2.1 Bagan Tingkat Energi Atom untuk ^{137}Cs — ^{137}Ba yang menggambarkan pemancaran γ (Wiryosimin, 1995).

Dalam keadaan tereksitasi ^{137}Cs ini berdisintegrasi dengan memancarkan γ berenergi 0,662 MeV (98%) dan memancarkan β^- (11%).

2.2.3 Penyerapan Eksponensial Sinar Gamma

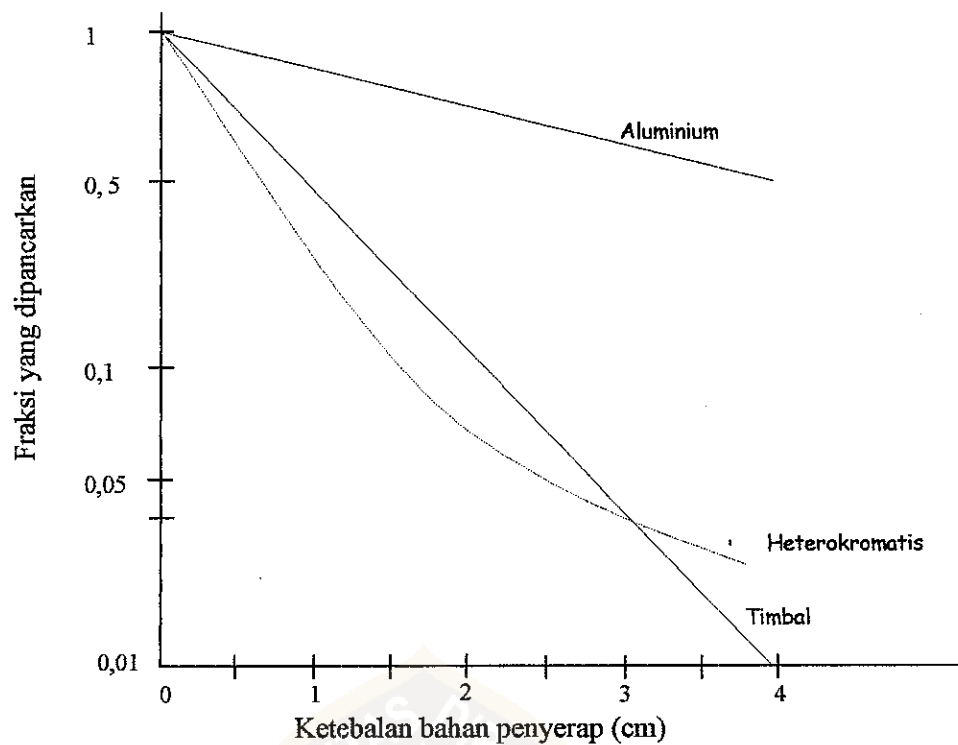
Pelemahan radiasi sinar gamma secara kualitatif berbeda dengan radiasi alfa ataupun beta. Radiasi alfa dan beta ini memiliki jangkauan yang pasti dalam materi dengan demikian dapat diserap kesemuanya, namun radiasi gamma tidak dapat diserap sepenuhnya. Pada pengukuran pelemahan sinar gamma, berkas sinar harus terkolimasi dan sumber radiasi harus sejauh mungkin dari detektor. Penyerap ditempatkan di tengah-tengah antara sumber radiasi dan detektor, sehingga interaksi antara foton yang telah dihamburkan oleh bahan

penyerap dapat diabaikan. Gambar 2.2. adalah skema pengukuran pelemahan radiasi gamma.



Gambar 2.2 Pengukuran Pelemahan Sinar Gamma (Cember,1983).

Jika data hasil pencatatan akibat berbagai macam ketebalan bahan penyerap diplot pada kertas “semi log” maka diperoleh suatu kurva seperti pada gambar 2.3. Jika sinar gamma tersebut bersifat mono-energitik dihasilkan garis lurus, sedangkan jika sinar gamma tersebut bersifat heterokromatis maka dihasilkan kurva garis putus-putus seperti gambar 2.3 (Cember,1983).



Gambar 2.3. Pelemahan sinar gamma mono-energitik dan heterokromatis dengan ketebalan bahan penyerap (Cember, 1983).

Persamaan garis lurus gambar 2.3 adalah : (Cember, 1983)

$$\ln I = -\mu x + \ln I_0 \quad \dots\dots\dots (2.1A)$$

Atau

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad \dots\dots\dots (2.1B)$$

Dengan mendapatkan anti-log bagi kedua ruas dalam persamaan tersebut, akan didapat :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan I adalah intensitas radiasi gamma setelah melewati bahan.

I_0 adalah intensitas mula-mula radiasi gamma.

μ adalah koefisien absorpsi bahan penyerap.

x adalah tebal bahan penyerap.

2.3 Interaksi Radiasi Sinar Gamma

2.3.1 Interaksi Radiasi Sinar Gamma dengan Materi

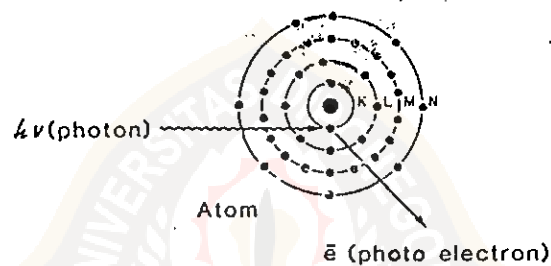
Bila sinar gamma berinteraksi dengan suatu materi maka akan terjadi interaksi antara foton dengan atom-atom materi. Interaksi ini mengakibatkan foton secara bertahap kehilangan energi karena terserap oleh atom-atom materi. Proses penyerapan energi foton dapat berlangsung melalui tiga macam cara yaitu :

- a. Efek fotolistrik
- b. Efek Compton
- c. Produksi pasangan

Proses penyerapan energi foton ini dapat terjadi bersama-sama dan dapat juga hanya satu dari ketiga proses penyerapan energi foton ini. Proses penyerapan energi foton ini tergantung pada energi kinetik yang dibawa foton ketika menumbuk bahan. Efek fotolistrik dan efek Compton terjadi apabila foton datang menumbuk bahan dengan energi kinetik kurang dari 1,02 MeV. Produksi pasangan terjadi bila energi fotonnya lebih besar atau sama dengan 1,02 MeV (Cember, 1983).

2.3.1.1 Efek Fotolistrik

Peristiwa efek fotolistrik terjadi bila sebuah foton datang dengan energi kurang dari 0,51 MeV menumbuk elektron yang terikat kuat di dalam suatu atom. Elektron akan menyerap seluruh energi yang dibawa foton dan akibatnya elektron keluar dari orbitnya. Elektron yang keluar dari orbitnya ini dinamakan fotoelektron dengan energi yang besarnya sama dengan selisih energi foton ketika bahan dengan energi minimum sebuah elektron untuk dapat lepas dari orbitnya.



Gambar 2.4 Ilustrasi efek fotolistrik (Khan, 1994).

Secara matematis dapat dinotasikan seperti pada persamaan,

$$E_{fc} = h\nu - Q \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan E_{fc} adalah energi kinetik foton-elektron

$h\nu$ adalah energi foton

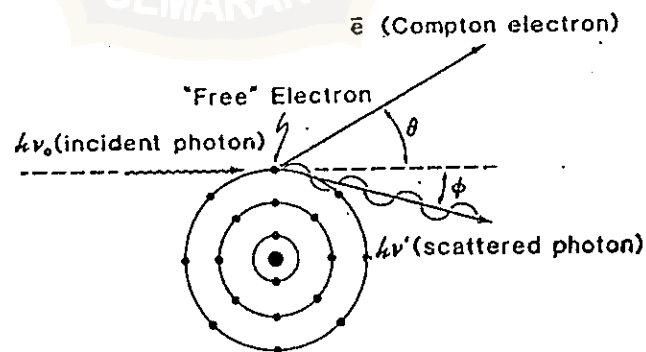
Q adalah energi minimum foton untuk dapat melepaskan dari ikatannya.

2.3.1.2 Efek Compton

Cara lain radiasi berinteraksi dengan atom adalah melalui efek Compton, dimana radiasi dihamburkan oleh elektron hampir bebas yang terikat lemah pada atomnya. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron, sehingga terlepas dari atomnya. Energi yang sisa diradiasikan kembali sebagai radiasi elektromagnet. Menurut gambaran gelombang, energi radiasi yang dipancarkan itu kecil daripada energi radiasi yang datang (selisihnya berubah menjadi energi kinetik elektron), namun panjang gelombang keduanya tetap sama.

Proses hamburan ini dianalisis sebagai suatu interaksi antara sebuah foton dan sebuah elektron, yang dianggap diam. Gambar dibawah ini memperlihatkan peristiwa tumbukan. Pada awal, foton memiliki energi E yang diberikan oleh

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2.5 Ilustrasi efek Compton (Khan, 1994).

dan momentumnya adalah :

$$p = \frac{E}{c} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dalam interaksi ini persyaratan kekekalan energi dan momentum yakni

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0c = \frac{hc}{\lambda'} + mc \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari persamaan diatas akhirnya didapatkan perubahan panjang gelombang foton sebesar

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \theta) \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan λ adalah panjang gelombang foton datang

λ' adalah panjang gelombang foton hambur

$\frac{h}{m_0c}$ adalah panjang gelombang Compton

2.3.2 Interaksi Radiasi Sinar Gamma dengan Materi Biologi (Depkes RI, 1995)

Interaksi radiasi dengan materi biologi merupakan proses yang bertahap yang diawali dengan tahap fisik dan berakhir dengan tahap biologik.

a. Tahap Fisik

Absorpsi radiasi pengion dengan hasil berupa eksitasi dan ionisasi pada molekul atau atom penyusun materi biologi.

b. Tahap Fisikokimia

Reaksi-reaksi yang dialami oleh atom atau molekul yang tereksitasi atau terionisasi sampai terbentuk radikal bebas yang tidak stabil. Seperti diketahui bahwa lebih dari 60 % tubuh terdiri dari air. Oleh karena itu peranan air sangat besar dalam menentukan hasil akhir efek radiasi. Efek langsung radiasi pada molekul atau atom penyusun tubuh hanya memberikan sumbangan yang kecil bagi akibat biologi akhir dibandingkan efek tak langsung melalui media air. Absorpsi tenaga radiasi oleh air akan menghasilkan radikal bebas yang sangat reaktif.

c. Tahap Kimia dan Biokimiawi

Pada tahap ini radiasi bebas dan molekul reaktif lain yang terbentuk akan saling bereaksi, disamping bereaksi dengan media sekitarnya untuk menimbulkan keseimbangan efek kimia akhir. Tanggapan biologik akan dimulai dengan terkenanya molekul-molekul organik penyusun sel atau protein penting dalam sel (enzim, DNA, dsb).

d. Tahap Biologik

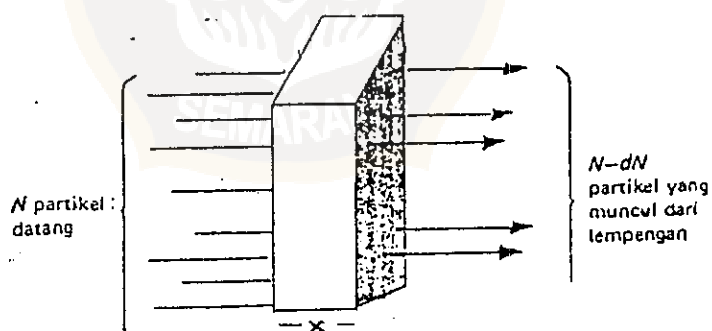
Tanggapan biologik dapat bervariasi tergantung molekul penting mana yang terkena.

- Rusaknya molekul enzim akan menimbulkan blokade berbagai proses metabolisme.
- Kerusakan molekul DNA dapat menimbulkan cacat genetik.

Kerusakan yang terjadi dapat meluas dari skala seluler ke jaringan, ke organ, bahkan dapat menimbulkan kematian.

2.4 Penyerapan Sinar Gamma dengan Bahan

Bila sinar gamma berinteraksi dengan suatu bahan mengakibatkan foton kehilangan energi secara bertahap. Akibatnya jumlah foton yang dapat melewati bahan penyerap berkurang terhadap jumlah foton mula-mula.



Gambar 2.6 Hubungan antara penampang dengan intensitas berkas (Beiser, 1990).

Andaikan jumlah foton sebelum mengenai bahan penyerap berjumlah N foton dan ketebalan bahan penyerap yang dilalui setebal dx , maka jumlah foton yang terserap oleh bahan penyerap dapat dinyatakan dengan persamaan

$$dN = -\mu N dx \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan μ adalah koefisien absorpsi linear, jumlah foton yang diserap tergantung sifat bahan penyerap.

Integrasi persamaan (2.8) didapatkan :

$$N = N_0 e^{-\mu x} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

Persamaan (2.9) menunjukkan jumlah foton yang dapat melalui bahan penyerap menurun secara eksponensial terhadap ketebalan bahan penyerap. N foton per detik persatuan luas dinyatakan sebagai intensitas. Maka persamaan (2.9) dinyatakan dalam bentuk :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan : I adalah intensitas foton setelah melalui bahan penyerap.

I_0 adalah intensitas foton sebelum melalui bahan penyerap.

μ adalah koefisien absorpsi linear.

x adalah tebal bahan penyerap.

2.5 Pengaruh Radiasi Terhadap Manusia

2.5.1 Satuan Dosis Radiasi

Empat jenis pengukuran radiasi di dalam berbagai pemakaian yaitu, aktivitas sumber radiasi, pemaparan, dosis serap, dan dosis ekuivalen.

a. Aktivitas sumber radiasi

Aktivitas didefinisikan sebagai jumlah peluruhan yang terjadi di dalam intinya per satuan waktu. Besarnya aktivitas diukur dalam satuan Becquerel (Bq) atau satuan Curie (Ci). Curie merupakan satuan kuantitas radioaktivitas yang digunakan sebelum dipakai satuan-satuan SI dan Becquerel. Becquerel adalah kuantitas bahan radioaktif dimana setiap detik ditransformasikan satu atom. Curie merupakan aktivitas dari sejumlah bahan radioaktif dimana ditransformasikan $3,7 \times 10^{10}$ atom per detik (Cember, 1983).

$$1 \text{ Curie} = 1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

b. Pemaparan (Roentgen)

Roentgen (R) didefinisikan sebagai besarnya penyinaran yang dapat menyebabkan terbentuknya muatan sebesar $2,58 \times 10^{-4}$ coulomb per kilogram udara.

$$1 \text{ Roentgen} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

c. Dosis serap (D)

Dosis serap D didefinisikan sebagai energi rata-rata yang diserap bahan per satuan massa bahan tersebut. Satuan yang digunakan sebelumnya adalah rad yang didefinisikan sebagai $1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g}$, sedangkan gray (Gy) adalah satuan SI, $1 \text{ gray (Gy)} = 1 \text{ joule/kg}$.

Dengan demikian dapat diperoleh hubungan $1 \text{ gray (Gy)} = 100 \text{ rad}$

d. Dosis ekivalen (rem)

Dosis serap yang sama tetapi berasal dari jenis radiasi yang berbeda ternyata memberikan akibat/efek yang berbeda pada sistem tubuh makhluk hidup. Faktor kualitas (QF) suatu radiasi khusus didefinisikan dengan perbandingan efeknya dengan efek dari suatu radiasi standar, biasanya diambil sebagai sinar-X yang energinya 200 keV. Satuan rem adalah satuan yang digunakan dalam efek biologik.

$$\text{rem} = \text{rad} \times \text{QF} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Dosis ekivalen dalam satuan internasional (SI) adalah sievert (Sv).

Hubungan antara sievert (Sv) dan rem adalah :

$$1 \text{ sievert (Sv)} = 100 \text{ rem}$$

$$\text{Sv} = \text{Gy} \times \text{QF} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Karena faktor kualitas (QF) untuk sinar X dan gamma adalah 1, maka dosis serap (Gy) sebanding dengan dosis ekivalen (Sv).

2.5.2 Radiasi Yang Mengenai Manusia

Zat radioaktif dan radiasi mengandung bahaya luar dan dalam. Bahaya luar diakibatkan oleh pemaparan luar (*external exposure*) sedang bahaya dalam diakibatkan oleh pemaparan dari dalam (*internal exposure*).

Radiasi mengenai manusia melalui dua cara yaitu radiasi eksternal dan internal. Radiasi eksternal yaitu paparan radiasi yang berasal dari sumber di luar tubuh. Radiasi internal yaitu paparan radiasi yang berasal dari sumber radiasi di dalam tubuh. Sumber radiasi atau zat radioaktif masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, makanan, minuman, dan luka di kulit.

2.5.3 Dosis Maksimum Yang Diperkenankan

Pengalaman dan tingkat pengetahuan dewasa ini memperlihatkan bahwa pemaparan luar atau dalam yang tertentu tidak akan menimbulkan kemungkinan terjadinya kerusakan somatik maupun genetik. Ini memberikan suatu penentuan konsep tentang dosis radiasi dan pemaparan maksimum yang diperkenankan (Roestan, 1978). Efek biologi dari radiasi (BATAN, 1996) :

- a. Efek stokastik, yaitu akibat yang kemungkinan terjadinya efek tersebut merupakan fungsi dari dosis radiasi yang diterima oleh seseorang dan tanpa suatu nilai ambang. Untuk membatasi efek stokastik, diterapkan nilai batas dosis untuk penyinaran seluruh tubuh adalah 50 mSv dalam satu tahun.

- b. Efek non stokastik adalah akibat yang tingkat keparahannya tergantung pada dosis radiasi yang diterima, karena itu diperlukan suatu nilai ambang. Untuk menghindari efek non stokastik, diterapkan nilai batas dosis 0,5 Sv untuk semua jaringan kecuali lensa mata, yaitu 0,15 Sv.

2.6 Film Badge

Film badge merupakan salah satu alat ukur radiasi yang digunakan untuk memantau jumlah radiasi yang tertimbun selama periode tertentu. Film badge terdiri dari sebuah paket yang berisi dua lempeng film dental (untuk sinar-X atau gamma) yang dibungkus dalam kertas kedap cahaya dan dikenakan dalam suatu wadah plastik atau logam. Pengaruh luar seperti kalor, kelembaban, dan kejutan mekanik tidak boleh mempengaruhi film ini. Temperatur dan kelembaban menghasilkan bayangan kabur pada film untuk pemakaian film yang lama. Efek ini meningkat dengan makin lamanya pemakaian film dan menghasilkan hasil pengukuran yang kurang tepat. Pabrik pembuat film badge menyatakan waktu maksimal pemakaian film adalah satu bulan sebagai alat pantau pribadi.

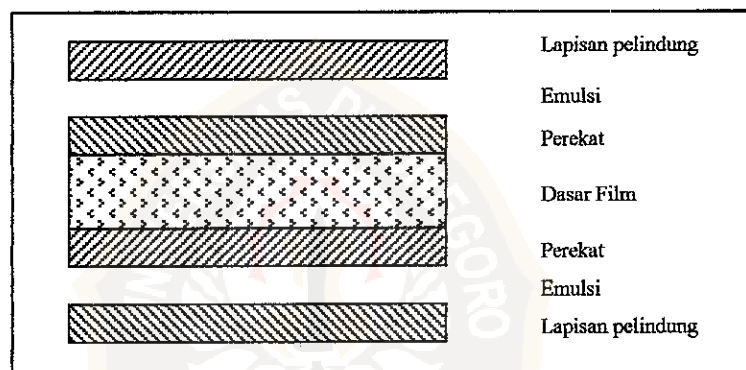
Film badge termasuk film beremulsi ganda, yaitu terdiri dari :

1. Emulsi cepat (*fast emulsion*). Emulsi ini 100 kali lebih sensitif daripada emulsi lambat.
2. Emulsi lambat (*low emulsion*). Emulsi ini tanggap terhadap sinar berenergi tinggi seperti sinar gamma dari ^{60}Co .

Bila film ini dikenai paparan secara serentak maka bayangan yang terbentuk setelah pemrosesan, terlihat satu bayangan. Densitas filmnya adalah jumlah densitas masing-masing kisi dasar film. Film dengan emulsi ganda memerlukan sedikit pemaparan untuk menghasilkan bayangan bila dibandingkan dengan film beremulsi tunggal (Chesney, 1978).

2.6.1 Struktur Film

Lapisan-lapisan penyusun film seperti pada gambar 2.7 yang terdiri dari :



Gambar. 2.7 Struktur film (Chesney, 1978)

a. Dasar Film (Film Base)

Dasar film terbuat dari bahan tipis yang mudah ditembus sinar, tetapi cukup keras dengan ketebalan merata. Dasar film terbuat dari selulosa triasetat dengan ketebalan kira-kira 200 μm .

b. Lapisan Emulsi

Lapisan emulsi adalah lapisan fleksibel, sangat tipis dan kering. Emulsi film terbuat dari kristal perak bromida (Ag Br) yang dicampur secara homogen dengan gelatin.

c. Perekat

Perekat pada film terbuat dari gelatin. Gelatin merupakan bahan lapisan pelindung pada permukaan film. Lapisan perekat berfungsi merekatkan kristal pada dasar film.

d. Lapisan Pelindung

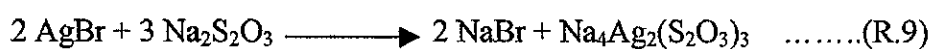
Lapisan pelindung merupakan lapisan terluar film yang sangat tipis. Pemberian lapisan pelindung agar film terhindar dari goresan dan tekanan akibat pengaruh mekanik dari luar.

2.6.2 Pembentukan Bayangan Laten

Lapisan Emulsi film sinar-X mengandung senyawa perak bromida (Ag Br), terdiri dari ion perak positif (Ag^+) dan ion bromida negatif (Br^-). Pada saat senyawa perak bromida terkena sinar gamma menyebabkan ikatan antara perak dan bromida terputus. Beberapa ion bromida melepaskan elektron (Chesney, 1978). Proses ini dapat ditulis sebagai berikut :



Hyposulfit ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) yang digunakan untuk menghilangkan bahan organik yang sebagian teroksidasi. Dengan adanya hyposulfit di dalam larutan fixer, maka ion-ion Ag^+ akan diikat menjadi garam kompleks $\text{Na}_4\text{Ag}_2(\text{S}_2\text{O}_3)_3$ sehingga dengan demikian ada halida-halida perak yang setimbang. Garam kompleks ini mudah larut di dalam air dan mudah dihilangkan dari lapisan gelatin seperti pada reaksi :



Reaksi ini hanya terjadi bila $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang berlebihan, jika tidak berlebihan maka akan terbentuk $\text{NaAg}(\text{S}_2\text{O}_3)$ yang sukar larut dalam air dan akan diserap oleh gelatin atau butir-butir yang telah didevelop. Ikatan kompleks ini lama kelamaan akan terurai sehingga akan merusak emulsi film.

2.6.4 Densitas Film

Pengukuran film didasarkan pada tingkat kehitaman yang ditimbulkan oleh radiasi yang mengenai AgBr yang terdapat dalam emulsi film tersebut. Tingkat kehitaman yang juga disebut sebagai densitas optis dari film tersebut, secara tepat dapat diukur dengan sebuah densitometer fotolistrik yang pembacaannya dinyatakan sebagai logaritma intensitas cahaya yang dipancarkan melalui film tersebut.

Densitas dinyatakan dengan :

$$D = \log \frac{I_0}{I} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan : I_0 adalah Intensitas cahaya yang melalui film yang tidak terkena paparan radiasi.

I adalah Intensitas cahaya yang melalui film yang terkena paparan radiasi.

2.6.5. Bingkai Film (*Holder*)

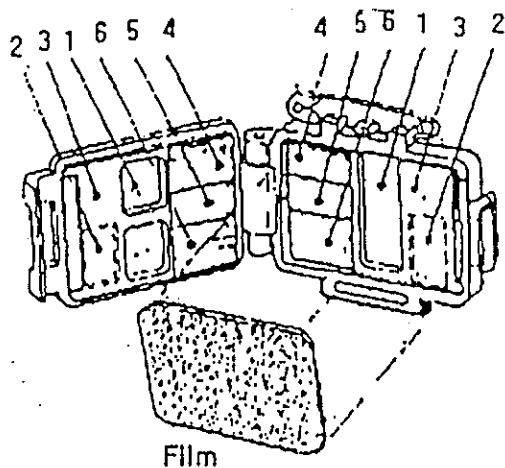
Holder film dosimeter mempunyai fungsi penting yaitu sebagai penyaring atau filter. Terdapat beberapa jenis filter seperti plastik 0,5 mm, 1,5 mm, dan 3 mm, aluminium 0,6 mm, tembaga 0,3 mm, campuran Sn 0,8 mm dan Pb 0,4 mm serta campuran Cd 0.8 mm, dan Pb 0,4 mm.

Masing-masing jenis filter tersebut berfungsi untuk menyaring jenis radiasi atau energi radiasi yang berbeda. Dosis semu dibelakang masing-masing filter dihitung dengan rumus menurut sistem AERE (Depkes RI,1995).

Dosis foton total :

$$\text{Dosis Sn/Pb} + \frac{\text{dosis dural}}{50} + \frac{\text{dosis plastik tebal - dural}}{10} \dots\dots(2.14)$$

Besarnya dosis dapat diketahui dengan menggunakan kurva kalibrasi.



Jenis Filter

1. Jendela (window)
2. Plastik 50 mg/cm²
3. Plastik 300 mg/cm²
4. Dural 0,04 "
5. Cd 0,028 " + Pb 0,0012 "
6. Sn 0,028 " + Pb 0,012 "

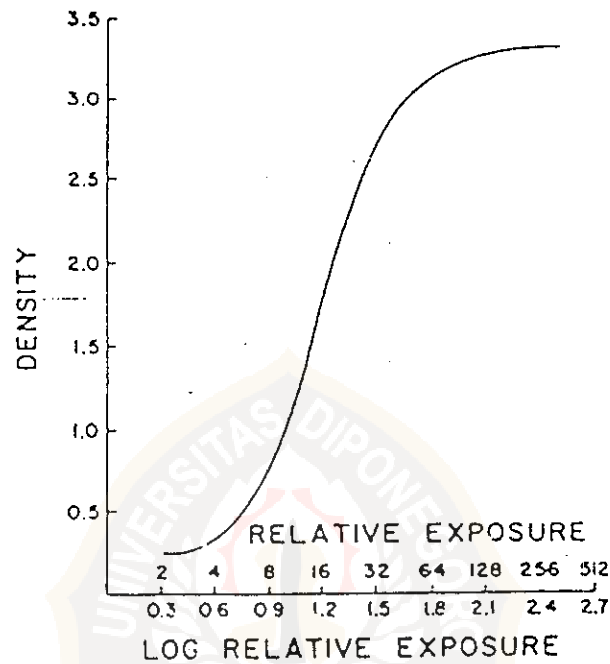
Gambar 2.8 Holder film badge AERE RPS (BATAN,1996).

2.6.6 Karakteristik Kurva Film

Hubungan antara densitas film dan penyinaran (*exposure*) dapat ditunjukkan sebagai kurva karakteristik film. Kurva ini diperoleh bila densitas diplot terhadap logaritma dari exposure. Kurva karakteristik film ditunjukkan gambar 2.9.

Pada penyinaran yang lemah (*under exposure*) kenaikan densitas film tidak begitu besar meskipun penyinaran diperbesar, hal ini terjadi karena pada setiap film mempunyai dasar kekabutan, hal ini terjadi karena pada setiap film mempunyai dasar kekabutan (*basic fog*), sehingga dengan penyinaran sampai menuju nilai ambang densitas film disebabkan oleh *basic fog* tersebut. Pada suatu besar penyinaran tertentu dimana densitas film sudah tidak dipengaruhi oleh *basic fog* maka besar penyinaran ini disebut sebagai titik ambang (daerah *toe*). Setelah melewati titik ambang akan terjadi peningkatan densitas film apabila penyinaran diperbesar. Dan apabila penyinaran yang diberikan

dengan kuat (*over exposure*) (daerah *shoulder*) maka kenaikan densitas yang dihasilkan tidak begitu berarti, hal ini dikarenakan film mengalami penambahan densitas yang semakin besar sehingga memungkinkan pada seluruh daerah film mempunyai densitas yang hampir sama dan sulit untuk dibedakan.



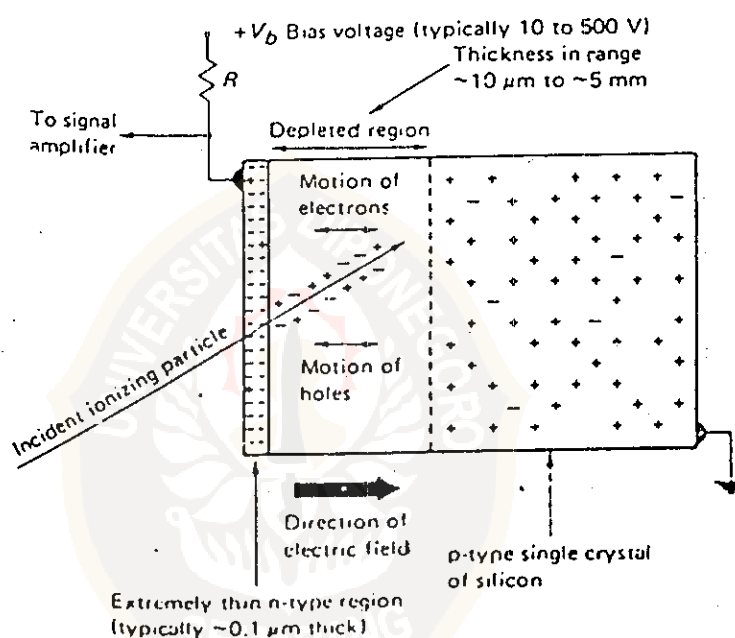
Gambar 2.9 Kurva Karakteristik Film (Curry,1990).

2.7 Dosimeter Elektronik

Dosimeter elektronik merupakan alat ukur radiasi perseorangan yang dapat menunjukkan tampilan langsung baik untuk laju dosis maupun dosis. Dosimeter elektronik terdiri dari tiga bagian utama yaitu dosimeter, *reader*, dan komputer. Dosimeter elektronik termasuk detektor semikonduktor, dengan menggunakan silikon sebagai detektornya. Detektor semikonduktor adalah peralatan solid-state yang dasar pengoperasiannya seperti detektor

ionisasi. Pembawa muatan dalam semikonduktor bukan merupakan elektron dan ion seperti pada detektor pencacah gas, tetapi elektron dan *hole*.

Silikon dengan kemurnian tinggi merupakan material dasar untuk tipe p, silikon tersebut dengan lapisan tipis yang tersusun dari komponen fosfor yang sebelumnya dipanaskan pada suhu 800-1000 °C kurang dari satu jam. Fosfor melapisi silikon secara difusi bersama dengan donor. Silikon tipe n di depan dan tipe p di belakang sehingga membentuk *p-n junction* (Tsoulfanidis, 1983).



Gambar 2.10 Detektor *diffused-junction* (Tsoulfanidis, 1983).

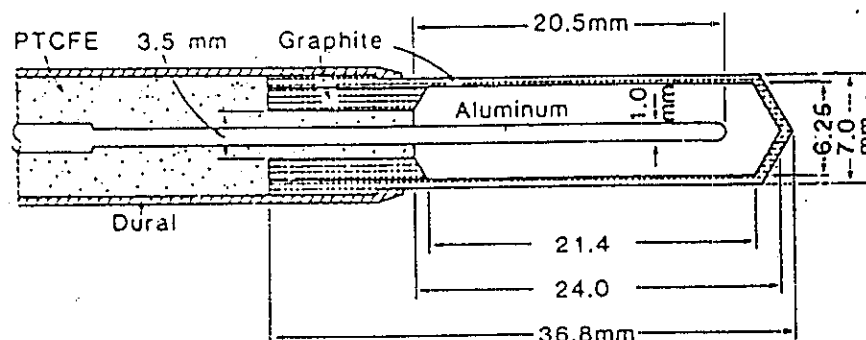
Pengoperasian detektor semikonduktor dosimeter elektronik didasarkan pada sifat-sifat *p-n junction* dengan bias balik. Radiasi yang datang melewati *junction* menghasilkan pasangan elektron-hole. Elektron dan *hole* dihanyutkan dibawah pengaruh medan listrik dan muatan yang terkumpul menghasilkan pulsa yang dapat direkam.

Reader merupakan peralatan yang digunakan untuk menghubungkan dosimeter ke komputer untuk memprogram parameter-parameter yang ada di dalam dosimeter seperti alarm laju dosis, alarm dosis dan akumulasi dosis. Pulsa yang terekam dan telah diubah dari analog ke digital oleh dosimeter dihubungkan ke *reader* dengan menggunakan infra merah. Selanjutnya dari *reader* informasi data ini akan diteruskan ke komputer untuk disimpan.

2.8 Dosimeter Farmer (Khan, 1994)

Dosimeter Farmer merupakan alat untuk mengukur radiasi sinar-X dan sinar gamma yang bekerja berdasarkan prinsip bilik pengion udara bebas. Dosimeter Farmer terdiri dari dua bagian utama yaitu Farmer chamber sebagai detektornya dan elektrometer sebagai peralatan pencacah radiasi.

Farmer chamber seperti pada gambar 2.11 berbentuk tudung, *thimble chamber* dan pusat elektroda. Dinding *thimble* terbuat dari graphite murni dan pusat elektroda terbuat dari aluminium murni, bahan penyekatnya polytrichlorofluorethylene (PTCFE). Farmer chamber ini dihubungkan ke elektrometer untuk mengukur besar radiasi yang mengenai Farmer chamber tersebut.



Gambar 2.11 Thimble chamber untuk dosimeter Farmer (Khan, 1994).

Elektrometer merupakan peralatan elektronik yang berfungsi mengubah respon detektor (Farmer chamber) menjadi suatu informasi yang dapat diamati. Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi udara yang ada di dalamnya dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif. Ion positif akan dikumpulkan oleh katoda (*thimble chamber*) sementara ion-ion negatif akan dikumpulkan oleh anoda (pusat elektroda). Jumlah ion yang dihasilkan tersebut sebanding dengan energi radiasi yang mengenai detektor. Ion-ion yang dihasilkan di dalam detektor tersebut akan memberikan kontribusi terbentuknya arus listrik atau pulsa listrik. Pulsa yang dihasilkan detektor akan diperkuat dengan penguat operasional (op amp). Keluaran dari penguat operasional yang berupa tegangan akan diterjemahkan menjadi angka/huruf yang dapat langsung terbaca.

