

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Besaran dan Satuan Radiasi

Menurut kriteria penggunaannya, satuan radiasi ada beberapa macam antara lain *röntgen* untuk satuan paparan radiasi, *rad* untuk satuan dosis serap medium dan *röntgen equivalent of man (rem)* untuk satuan dosis setara (Wardhana, 1996). Selain besaran tersebut, ada besaran lain “dosis setara efektif” dan “dosis setara kolektif” (Joedatmodjo dkk, 1994). Karena berhubungan dengan manusia, kedua besaran tersebut juga mempunyai satuan *rem*.

2.1.1. Paparan radiasi

Paparan (*exposure*) adalah besarnya intensitas sinar-X atau sinar- γ yang dapat menghasilkan ionisasi di udara dalam jumlah tertentu. Satuan paparan adalah *röntgen* (R). Satu *röntgen* didefinisikan sebagai intensitas sinar-X atau sinar- γ yang dapat menghasilkan ionisasi di udara sebanyak $1,61 \times 10^{15}$ pasangan ion per kilogram udara. Energi yang diperlukan untuk membentuk satu pasang ion di udara adalah $5,4 \times 10^{-18}$ *joule* (Wardhana, 1996). Oleh karena itu satu *röntgen* dapat dikonversi ke *joule*.

$$1 \text{ R} = (1,61 \times 10^{15}) (5,4 \times 10^{-18}) = 0,00869 \text{ J/kg udara} \quad (2.1)$$

2.1.2. Dosis serap medium

Radiasi pengion yang mengenai medium akan memberikan energinya kepada medium. Dalam hal ini medium dapat menyerap radiasi (Wardhana, 1996).

Banyaknya energi yang diterima materi dalam satuan massa medium disebut dosis serap. Dosis serap mempunyai satuan *Radiation Absorbed Dose* yang disingkat *rad*. Dalam sistem Satuan Internasional (SI), dosis serap mempunyai satuan *gray* (Gy) atau *J/kg* (Wardhana, 1996).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad} \quad (2.2)$$

Hubungan antara *röntgen* dan *gray* adalah:

$$1 \text{ röntgen} = 0,00869 \text{ gray} \quad (2.3)$$

2.1.3. Dosis setara

Dosis setara digunakan untuk pengaruh radiasi terhadap tubuh manusia atau sistem biologis lainnya. Oleh karena itu dosis setara mempunyai satuan *röntgen equivalent of man* atau disingkat *rem*. Hubungan antara dosis setara dengan dosis serap adalah:

$$\text{Dosis setara (rem)} = \text{Dosis serap (rad)} \times Q \quad (2.4)$$

dengan *Q* adalah faktor kualitas, yaitu suatu bilangan yang nilainya tergantung pada jenis radiasi. Nilai *Q* untuk beberapa jenis radiasi dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai *Q* untuk Beberapa Jenis Radiasi

Jenis radiasi	Nilai <i>Q</i>
Sinar-X, γ dan β	1
Neutron thermal	2,3
Neutron cepat dan proton	10
Partikel α	20

Dalam sistem Satuan Internasional (SI), dosis setara mempunyai satuan *sievert* (Sv). Hubungan antara Sv dengan Gy adalah:

$$\text{Dosis setara (Sv)} = \text{Dosis serap (Gy)} \times Q \times N \quad (2.5)$$

dengan N adalah faktor modifikasi yang juga merupakan faktor koreksi terhadap adanya laju dosis serap. Pada saat ini menurut *International Commission on Radiation Protection* (ICRP) harga N mendekati satu (Wardhana, 1996).

2.1.4. Dosis setara efektif

Pada kondisi radiasi mengenai seluruh tubuh dengan setiap bagian tubuh mendapatkan dosis setara yang sama, efek yang terjadi berbeda-beda tergantung pada organ dan jaringan yang dikenainya. Hal ini dikarenakan kepekaan setiap organ dan jaringan tubuh berbeda-beda untuk dosis setara yang sama. Untuk perhitungan dosis ini diperlukan besaran dosis lain yang disebut dosis setara efektif (E_T) yang dirumuskan:

$$E_T = W_T \cdot H \quad (2.6)$$

dengan W_T : faktor bobot organ/jaringan tubuh yaitu tingkat kepekaan organ/jaringan terhadap radiasi

H : dosis efektif

Untuk radiasi seluruh tubuh, dosis setara efektifnya berupa penjumlahan dosis efektif untuk masing-masing organ atau jaringan tubuh (Joedatmodjo dkk, 1994).

2.1.5. Dosis setara kolektif

Besaran dosimetri ini berlaku untuk kondisi radiasi yang melibatkan sejumlah besar populasi. Dosis setara efektif dirumuskan sebagai (Joedatmodjo dkk, 1994):

$$\text{Dosis setara kolektif} = \text{jumlah populasi} \times \text{dosis efektif perorangan} \quad (2.7)$$

2.1.6. Laju dosis radiasi

Banyaknya dosis radiasi /dosis serap tiap satuan waktu disebut laju dosis radiasi.

Hubungan antara dosis, laju dosis dan waktu adalah (Martin dan Harbinson, 1972):

$$\text{Laju dosis} = \frac{\text{Dosis}}{\text{Waktu}} \quad (2.8)$$

2.2. Sinar- γ

Sinar- γ merupakan salah satu radiasi yang berbahaya karena mempunyai daya tembus yang besar. Radiasi sinar- γ dipancarkan dari suatu inti yang dalam keadaan tereksitasi.

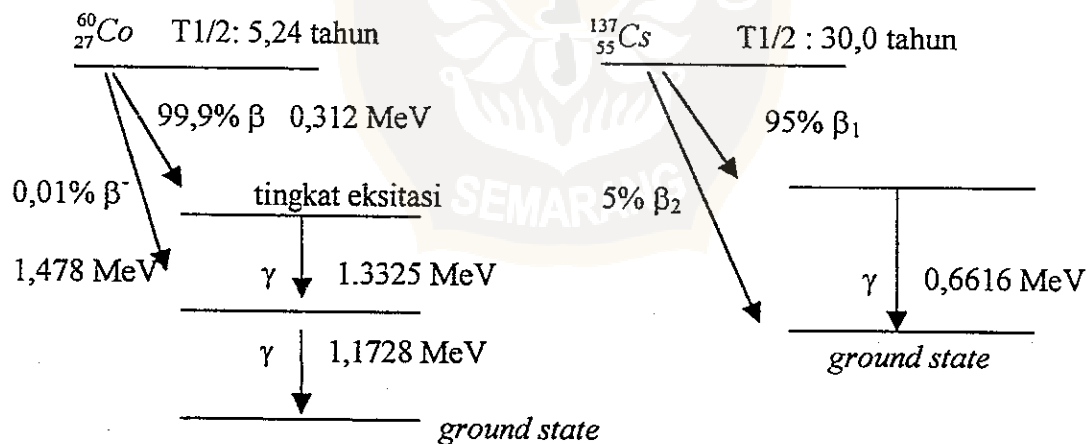
2.2.1. Emisi Sinar- γ

Inti atom dalam keadaan dasar (*ground state*) mempunyai energi yang minimum. Energi ini disebut energi ikat inti. Karena suatu proses reaksi inti tertentu, inti akan mempunyai energi yang lebih besar dari energi pada *ground state* yang mengakibatkan inti dalam keadaan tereksitasi sehingga konfigurasi inti menjadi tidak

stabil. Karena ketidakstabilan ini, atom akan kembali lagi ke *ground state* sambil melepaskan energi dalam bentuk foton (Murphy, 1961)

Sinar- γ yang keluar dari suatu inti berinteraksi dengan sebuah elektron di kulit K. Interaksi ini akan memberikan energi yang cukup bagi elektron untuk terpancar. Dalam proses ini, radiasi sinar- γ disertai dengan radiasi- β . Selain itu, ketika sebuah elektron di kulit L atau yang lebih tinggi mengisi kekosongan di kulit K, sinar-X akan terbentuk (Murphy, 1961).

Contoh skema diagram tingkat energi terlihat pada gambar 2.1. Cobalt-60 (Co-60) dan Cesium-137 (Cs-137) merupakan sumber radiasi standar sinar- γ . Co-60 memancarkan sinar- γ dengan energi 1,1728 MeV dan 1,3325 MeV, sedangkan Cs-137 memancarkan sinar- γ dengan energi 0,6616 MeV.



Gambar 2.1. Diagram Tingkat Energi untuk Disintegrasi Co-60 dan Cs-137

Menurut Harvey (dalam Sasongko, 1998), sinar- γ adalah gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dari suatu inti tidak stabil karena adanya osilasi multipole listrik dan magnet. Osilasi multipol ini terjadi dalam suatu inti tereksitasi yang akan memancarkan sinar- γ dalam proses menuju ke aras dasar. Aras tereksitasi suatu inti merupakan keadaan kuantum yang dicirikan oleh aras tenaga, spin dan paritas. Kuanta yang dipancarkan membawa tenaga sebesar $h\nu$ untuk setiap kuantumnya.

Dengan menggunakan model zarah tunggal untuk menggambarkan keadaan inti, transisi listrik dan magnetik dirumuskan sebagai fungsi momentum(l), energi (E) dan jari-jari (R) seperti persamaan berikut:

$$\lambda_e = 10^{21} [4,4(1+1) : 1\{(2l+1)!\}^2 [(3) : (1+3)]^2 [E : 197]^{2l+1} R^{2l} \quad (2.9)$$

$$\lambda_e = 10^{21} [1,9(1+1) : 1\{(2l+1)!\}^2 [(3) : (1+3)]^2 [E : 197]^{2l+1} R^{2l-2} \quad (2.10)$$

Dengan menggunakan model kolektif, kebolehdjian emisi- γ dari aras rotasional inti tereksitasi memberikan tetapan peluruhan dari aras berspin $(2l+1)$ ke aras berspin l pada transisi E_2 :

$$E_2 = (8 : 5) (\pi^6 E^5 : c^5 h^6) e^2 Q_0^2 [(1+1)(1+2)/(2l+3)(2l+5)] \quad (2.11)$$

dengan Q_0 : momen kuadrapol listrik

e : muatan listrik elektron = $1,6020 \times 10^{-19}$ C

h : tetapan Planck = $6,6251 \times 10^{-31}$ Js

Jika transisi terjadi antara aras-aras yang memiliki dua pita rotasional yang berbeda maka multipolaritas radiasi l harus sama atau lebih besar dari perbedaan nilai bilangan kuantum kedua pita (Sasongko, 1998).

Menurut Susetyo (1988), sinar- γ yang dipancarkan oleh inti atom dapat berinteraksi dengan elektron-elektron pada orbital atom, biasanya terjadi pada kulit K, L atau M. Sinar- γ akan menyerahkan seluruh tenaganya kepada elektron sehingga elektron akan keluar dari sistem atom dengan tenaga gerak (E_e) sebesar tenaga sinar- γ (E_γ) dikurangi tenaga ikat elektron (E_I), menurut persamaan:

$$E_e = E_\gamma - E_I \quad (2.12)$$

Proses tersebut dinamakan konversi internal dan elektron yang dipancarkan disebut elektron konversi.

Perbandingan kebolehjadian/probabilitas transisi dari satu tingkat radioaktifitas tertentu ke tingkat-tingkat tenaga yang lain dinamakan intensitas mutlak (*yield* atau *γ -ray abundance*) (Susetyo, 1988).

2.2.2. Sifat fisik sinar- γ

Ada beberapa jenis radiasi yang dikeluarkan oleh inti radioaktif, antara lain partikel α , partikel β , sinar- γ dan sinar-X. Partikel α yang bermuatan positif dan partikel β yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet dan medan listrik (Smith dan Cooper, 1957). Sinar- γ tidak dibelokkan oleh medan listrik karena tidak bermuatan. Sinar- γ dengan panjang gelombang $1,7 \times 10^{-10}$ cm sampai $4,1 \times 10^{-8}$ cm merambat dengan laju yang sama dengan laju cahaya. Karena panjang

gelombangnya sangat kecil, maka daya tembusnya sangat besar. Radiasi sinar α dapat dihalangi oleh selembar kertas, radiasi β dapat dihalangi oleh lempeng logam dengan tebal beberapa milimeter sedangkan radiasi sinar- γ memerlukan timah dengan tebal beberapa centimeter untuk menghalanginya (Arya, 1966).

2.2.3. Interaksi sinar- γ dengan materi

Terhadap materi, interaksi sinar- γ berbeda dengan partikel α dan β . Perbedaan ini dikarenakan daya tembus dan daya serap sinar- γ lebih besar dari pada kedua partikel bermuatan tersebut (Kaplan, 1963).

Bila suatu sinar melalui suatu materi, sebagian energinya akan terserap oleh materi. Interaksi sinar- γ dengan materi ada tiga proses yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan (Arya, 1966).

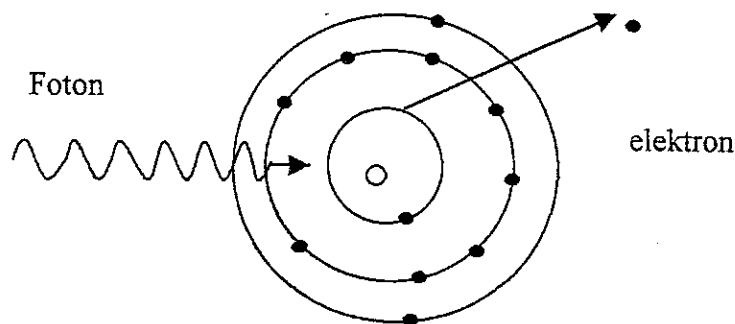
a. *Efek fotolistrik*. Bila foton γ mengenai elektron orbital suatu atom, sebagian energinya digunakan untuk mengeluarkan elektron dari atom dan sisanya sebagai energi kinetik elektron tersebut. Skema efek fotolistrik terlihat pada gambar 2.2. Seluruh energi foton (E) diberikan pada proses ini sesuai dengan persamaan (Ridwan dkk, 1995):

$$E = Q + E_k \quad (2.13)$$

dengan E : energi foton

Q : energi ikatan elektron

E_k : energi kinetik elektron.



Gambar 2.2. Efek Fotolistrik, penyerapan sebuah foton mengakibatkan emisi elektron kulit K (Arya, 1966)

Peristiwa efek fotolistrik ini terjadi pada energi kurang dari 1 MeV. Untuk radiasi rendah, foton berinteraksi dengan orbital luar sedangkan untuk energi yang lebih besar, foton akan berinteraksi dengan orbital yang lebih dalam. Bila elektron yang dikeluarkan berasal dari orbital yang lebih dalam, kekosongan yang terjadi akan diisi oleh elektron yang lebih luar. Pada proses ini terjadi pemancaran sinar-X. Sinar-X yang terpancar ini akan mengenai elektron dan mengeluarkannya ke orbit yang lebih luar dengan energi yang besarnya sama dengan energi sinar-X dikurangi energi ikat elektron. Elektron yang keluar ini disebut elektron Auger. Proses keluarnya elektron Auger ini terjadi pada materi dengan nomor atom berat (Ridwan dkk, 1995).

Kebolehjadian suatu foton- γ yang mempunyai energi E_γ berinteraksi melalui efek fotolistrik dinyatakan dalam suatu besaran yang disebutampang lintang efek fotolistrik (τ), yang dirumuskan sebagai (Susetyo, 1988):

$$\tau = c \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} \quad (2.14)$$

dengan c : konstanta

z : nomor atom inti.

b. *Efek Compton / hamburan Compton.* Bila foton- γ mempunyai energi antara 500 KeV sampai 5 MeV, peristiwa interaksi yang dominan terjadi adalah hamburan *Compton*. Foton- γ yang datang akan memberikan sebagian tenaganya untuk membebaskan elektron dari atom dan sisanya dihamburkan dengan sudut θ . Proses hamburan *Compton* terlihat pada gambar 2.3. Pada proses hamburan *Compton* berlaku persamaan:

$$\lambda_1 - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) \quad (2.15)$$

dengan λ : panjang gelombang datang

λ_1 : panjang gelombang terhambur

h : tetapan Planck

m_0 : massa diam elektron

c : kecepatan cahaya.

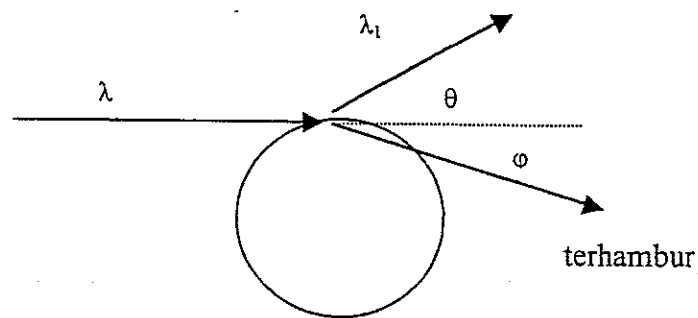
Pada proses hamburan *Compton* berlaku hukum kekekalan momentum, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$h\nu = h\nu' + E_k \quad (2.16)$$

dengan $h\nu$: energi foton datang

$h\nu'$: energi foton terhambur

E_k : energi kinetik elektron.



Gambar 2.3. Hamburan Compton (Ridwan dkk, 1985)

Energi foton terhambur mempunyai persamaan (2.18) dan energi kinetik elektron mempunyai persamaan (2.19) di bawah ini:

$$h\nu' = \frac{m_0c^2}{\frac{m_0c^2}{h\nu} + 1 - \cos\theta} \quad (2.17)$$

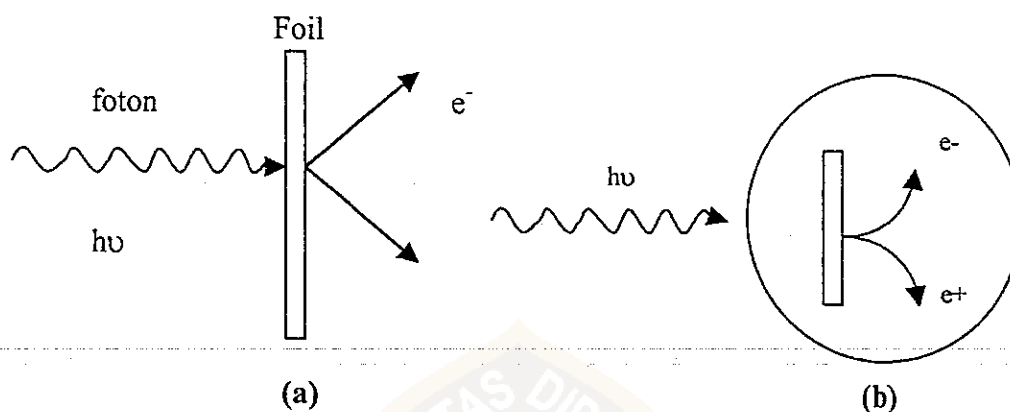
$$Ek = \frac{(h\nu)^2(1 - \cos\theta)}{m_0c^2 + h\nu(1 - \cos\theta)} \quad (2.18)$$

dengan m_0c^2 : energi diam elektron = 0,511 MeV. Hubungan antara sudut θ dan sudut ϕ ditentukan oleh persamaan (2.20) (Ridwan dkk, 1985):

$$\cot \phi = -\left(1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}\right) \tan \frac{\theta}{2} \quad (2.19)$$

c. Efek produksi pasangan. Bila foton berinteraksi dengan medan listrik sekeliling partikel bermuatan, maka foton tersebut akan hilang dan terjadi pembentukan pasangan elektron-positron. Peristiwa ini banyak terjadi pada *groundstate*. Peristiwa ini terjadi jika foton yang datang mempunyai energi minimal $2 m_0c^2$ (1,02 MeV). Bila

positron yang terjadi bertemu dengan elektron maka akan segera menjadi dua foton γ . Peristiwa ini disebut *anihilasi* dan peristiwa ini selalu mengikuti terjadinya efek produksi pasangan.



Gambar 2.4. (a). Formasi pasangan elektron-positron
(b). Formasi pasangan dalam tabung dengan medan magnet
(Arya, 1966)

Proses produksi pasangan memenuhi hukum kekekalan energi.

$$h\nu = (2m_0c^2) + K_+ + K_- \quad (2.21)$$

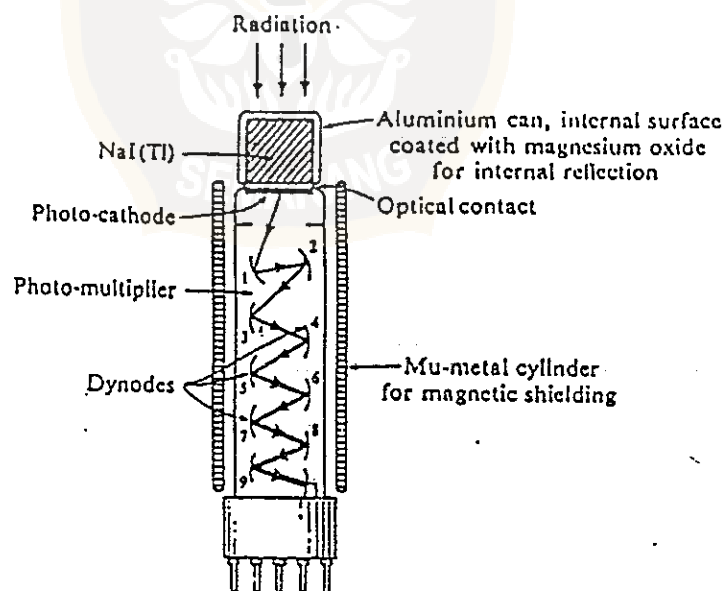
dengan K_+ : energi kinetik positron dan K_- : energi kinetik elektron (Ridwan dkk, 1985).

2.3. Detektor Sintilasi NaI(Tl)

Detektor merupakan bagian sistem alat ukur radiasi yang mengkonversi besaran radiasi menjadi pulsa listrik. Detektor sintilasi NaI(Tl) bekerja berdasarkan proses sintilasi (pendaran). Detektor ini bekerja pada suhu kamar dan dalam pengoperasiannya tidak memerlukan nitrogen cair, sehingga lebih mudah dibawa (*portable*).

2.3.1. Susunan materi dan proses sintilasi NaI(Tl)

Beberapa substansi di antaranya *sodium, iodium, cesium, iodida, antrasen, naftalen* dan *fenantren*, akan menghasilkan pendaran apabila ia ditumbuk oleh partikel bermuatan tunggal seperti sinar-X atau sinar- γ . Substansi ini disebut sintilator. Pendaran yang dihasilkan diubah menjadi pulsa listrik yang dapat diperkuat dan dapat dicacah. Alat pencacah dan pendeteksinya disebut pencacah sintilasi (Arya, 1966). Untuk mendeteksi sinar- γ digunakan detektor sintilasi NaI(Tl). Bahan sintilator adalah kristal tunggal NaI(Tl) yang telah dikotori dengan sedikit Talium. Karena kristal NaI bersifat higroskopis, maka ia ditutup rapat dalam wadah aluminium yang dilapisi dengan kromium dan dibungkus dengan reflektor MgO (Mangan Oksida). Kristal NaI yang telah dibungkus ini direkatkan pada tabung pengganda fotoelektron (*Photomultiplier Tube = PMT*) (Arya, 1966). Skema detektor sintilasi terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Detektor Sintilasi NaI(Tl)
(Arya, 1966)

Sinar- γ berinteraksi dengan NaI(Tl) dengan tiga mekanisme yaitu efek fotolistrik, hamburan *compton* dan produksi pasangan, tergantung energinya (Price, 1958). Dari proses tersebut energi foton akan digunakan untuk menghasilkan elektron dan memberi energi kinetik pada elektron tersebut.

Tingkat-tingkat tenaga (pita tenaga) atom sintilasinya dapat dilihat pada gambar 2.6. Celah tenaga antara pita valensi dengan pita konduksi dan antara pita valensi dengan pita eksitasi cukup besar. Oleh karena itu kebolehdjian berpindahnya elektron ke pita konduksi atau pita valensi sangat kecil. Dengan adanya aktivator (Tl), maka celah tenaga dasar eksitasinya kecil sehingga proses sintilasinya menjadi lebih mudah. Cahaya yang terjadi akibat proses sintilasi akan mengenai katoda (yang disebut fotokatoda) dan akan menghasilkan fotoelektron. Banyaknya fotoelektron sebanding dengan intensitas cahaya. Karena tegangan tinggi terpasang pada dinoda-dinoda, maka foto elektron tersebut akan dipercepat menuju dinoda pertama dan terpecahlah beberapa elektron yang selanjutnya dipercepat menuju dinoda kedua yang menghasilkan elektron yang lebih banyak. Demikian seterusnya sampai semua elektron terkumpul dan menghasilkan pulsa listrik. Anoda merupakan dinoda terakhir. Tinggi pulsa yang dihasilkan sebanding dengan intensitas cahaya dan tenaga radiasi.

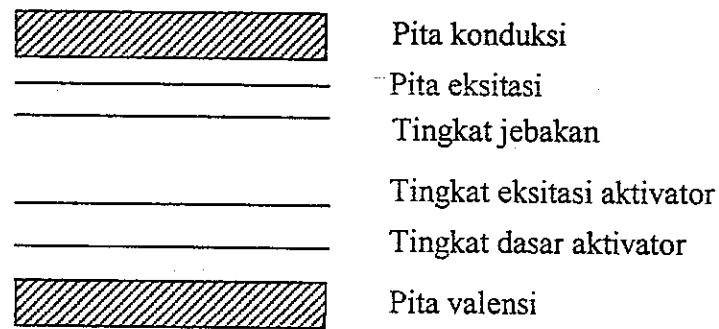
Penggandaan elektron dalam PMT (M) dirumuskan sebagai berikut:

$$M = (\theta_1 \varepsilon_1) \cdot (\theta_2 \varepsilon_2) \dots (\theta_n \varepsilon_n) \quad (2.22)$$

dengan n : jumlah dinoda

$$\varepsilon_n : \frac{\text{jumlah elektron yang terkumpul pada dinoda ke } n}{\text{jumlah elektron yang dipancarkan oleh dinoda ke } (n-1)}$$

θ_n : $\frac{\text{jumlah elektron yang dipancarkan oleh dinoda ke } n}{\text{jumlah elektron yang diterima dinoda sesudah dinoda ke } n}$



Gambar 2.6. Pita Tenaga Atom Sintilasi

Nilai ε tergantung pada faktor geometri dan θ tergantung pada tegangan yang terpasang di antara dua dinoda dan materi pembuat dinoda tersebut. Ketergantungan θ pada tegangan dirumuskan:

$$\theta = k V^a \quad (2.22)$$

dengan $V = V_i - V_{i-1}$: beda potensial antara dua dinoda yang berdekatan

(untuk tiap-tiap dinoda dianggap sama)

k dan a : konstanta.

PMT biasanya mempunyai 10 tingkat dinoda dan faktor penggandanya sekitar 10^7 - 10^8 kali (Tsoufanidis, 1983).

Ukuran yang menghubungkan antara pulsa yang dihasilkan oleh detektor dengan aktivitas γ yang diberikan disebut efisiensi. Efisiensi mutlak detektor (η) dirumuskan:

$$\eta = \frac{N}{A \phi F Y} \quad (2.23)$$

dengan N : cacah pulsa

A : aktivitas sumber

F : kombinasi beberapa faktor koreksi

(adanya serapan diri sumber dengan pelindung)

ϕ : faktor geometri

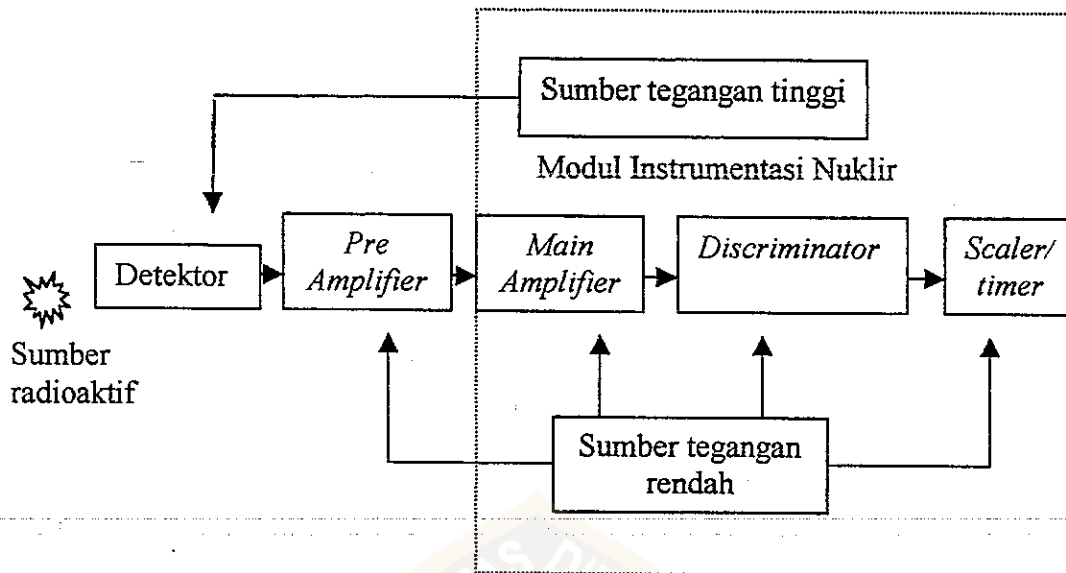
Y : *yield* (intensitas mutlak).

2.3.2. Perlengkapan Detektor NaI(Tl)

Untuk mencacah radiasi sinar- γ , detektor NaI(Tl) dilengkapi dengan beberapa peralatan antara lain sumber tegangan, *preamplifier*, *main amplifier*, diskriminator, *scaler* dan *timer* (Bairi dkk, 1994).

a. *Sumber Tegangan*. Modul instrumentasi nuklir membutuhkan sumber tegangan arus searah. Ada dua macam sumber tegangan yang diperlukan yaitu sumber tegangan tinggi dan sumber tegangan rendah. Sumber tegangan tinggi digunakan untuk detektor, sedangkan sumber tegangan rendah digunakan untuk perangkat elektroniknya seperti *preamplifier*, *main amplifier*, diskriminator, *scaler* dan *timer*.

b. *Penguat awal (preamplifier)*. Dalam spektroskopi energi penguat awal berfungsi mengubah muatan detektor menjadi tegangan. Penguat awal ada tiga macam yaitu penguat awal peka tegangan, peka muatan dan peka arus. Penguat awal peka tegangan biasanya digunakan pada detektor sintilasi.

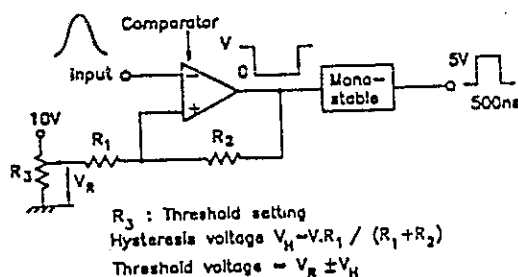


Gambar 2. 7. Diagram Blok Pencacah Radiasi (Bairi dkk, 1994)

c. *Penguat utama (main amplifier)*. Keluaran penguat awal biasanya kecil (sekitar 1 volt). Keluaran ini perlu diperkuat sampai di atas 10 volt menggunakan penguat utama.

d. *Diskriminator*. Diskriminator berfungsi mengubah keluaran analog amplifier menjadi pulsa logika/digital dengan amplitudo 5 volt dan lebar 500 nano detik. Diskriminator dibagi menjadi dua kategori yaitu integral dan diferensial. Diskriminator integral digunakan untuk menentukan laju cacah radiasi dengan energi tunggal. Rangkaian diskriminator integral terdiri dari komparator dengan *hysteresis*. Sinyal diberikan pada salah satu masukan komparator dan tegangan ambang diberikan pada masukan yang lain. Diskriminator diferensial disebut juga *Single Channel*

Analyzer (SCA). Rangkaian ini digunakan untuk menganalisis amplitudo pulsa dengan energi ganda.



Gambar 2.8. Diskriminator Integral (Bairi dkk, 1994)

d. *Scaler* dan *timer*. Pulsa keluaran SCA dicacah untuk selang waktu tertentu untuk menentukan laju cacah radiasi. *Scaler* berisi rangkaian *counter* dengan tampilan LED tujuh segmen. *Timer* digunakan untuk menentukan selang waktu cacahan (Bairi dkk, 1994).

2.4. Prinsip Metoda *Konversi Spektrum ke Dosis*

Fungsi respons adalah distribusi tenaga dari pulsa yang ditimbulkan oleh detektor karena satu kuantum radiasi atau partikel dengan tenaga E_0 . Fungsi respon dinyatakan dalam distribusi tinggi pulsa dengan tenaga, $f(E, E_0)$.

Cara mendapatkan dosis radiasi dari $f(E, E_0)$ adalah dengan menentukan fungsi konversi $G(E)$ yang harus memenuhi persamaan :

$$k \frac{\int f(E, E_0) G(E)}{R(E)} = 1 \quad (2.24)$$

dengan k adalah konstanta dan $R(E)$ adalah dosis radiasi (dosis serap atau dosis paparan) yang diakibatkan oleh adanya satu kuantum radiasi atau partikel dengan tenaga E_0 . Pada paparan radiasi sinar- γ menggunakan detektor sintilasi, $G(E)$ didapatkan sebanding dengan tenaga E (Moriuchi dan Miyana, 1966).

Dengan menggunakan fungsi konversi $G(E)$ didapatkan bahwa dosis radiasi dari distribusi tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor adalah :

$$D(E) = \int_0^{E_{\max}} F(E)G(E)dE \quad (2.25)$$

dengan $F(E)$ adalah spektrum tinggi pulsa, $G(E)$ adalah fungsi bobot tenaga (dosis percacah per MeV) dan E_{\max} adalah tenaga maksimum pada $F(E)$.

Prinsip pengolahan data yang berasal dari detektor adalah melakukan *sampling* pulsa masukan dari detektor dan melewatkannya pada gerbang waktu yang sesuai dengan tinggi pulsanya. Secara teknis adalah sebagai berikut:

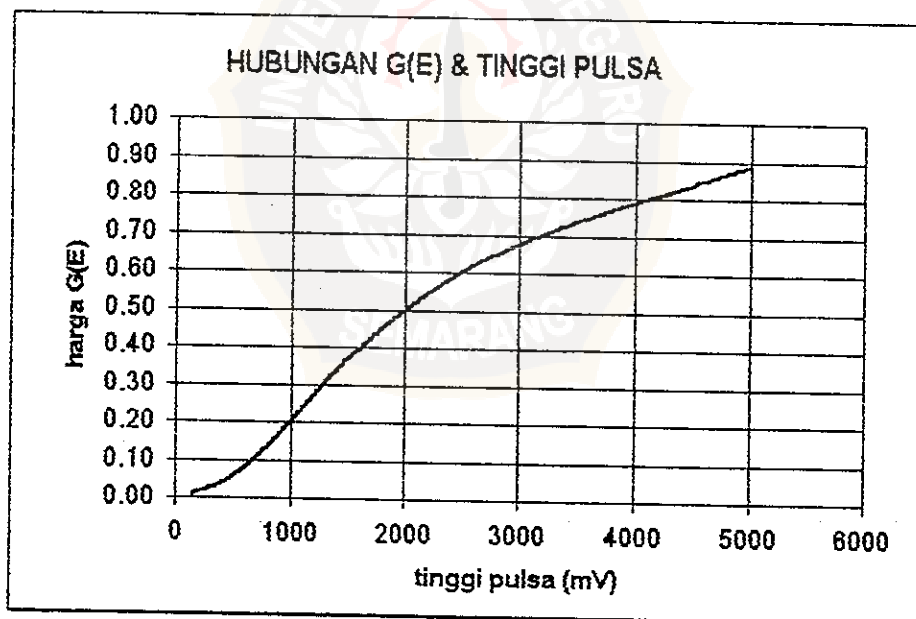
Andaikan aras diskriminator berubah terhadap waktu pengulangan t_0 sesuai dengan kelajuan dengan fungsi kebalikan $G(E)$, maka pulsa-pulsa dengan tenaga E dapat melalui gerbang ini dengan kelajuan $G(E) / G(E_0) = t / t_0$. Oleh karena itu pemberian bobot pulsa terhadap $G(E)$ secara otomatis diubah menjadi *sampling* pulsa yang melalui gerbang waktu *bias* diskriminator bolak-balik, dalam bentuk fungsi kebalikan $G(E)$.

Bila fungsi $G(E)$ memenuhi persamaan (2.25) untuk sinar- γ tenaga tunggal $E_0(\text{MeV})$, maka dosis $D(E_0)$ dalam medan radiasi adalah :

$$D(E_0) = \int_0^{\infty} n(E, E_0) \cdot G(E) dE \quad (2.27)$$

dengan $n(E, E_0)$ adalah spektrum tinggi pulsa yang mempunyai satuan cacah per menit per MeV. Kondisi tersebut memerlukan keberadaan fungsi pembobot (dosis per cacah per MeV) (Moriuchi dan Miyanaga, 1966).

Nilai $G(E)$ untuk detektor sintilasi NaI(Tl) berbentuk silinder dengan diameter 2 inci dan tebal 2 inci telah dihitung oleh Moriuchi dkk. Data $G(E)$ terlihat pada lampiran B. Grafik hubungan antara nilai $G(E)$ dengan tinggi pulsa dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Grafik Hubungan antara Nilai $G(E)$ dengan Tinggi Pulsa