

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Spektroskopi gamma berhubungan erat dengan teori radioaktivitas. Radioaktivitas adalah gejala perubahan inti secara spontan yang disertai dengan radiasi berupa zarah dan atau gelombang elektromagnetik.

Gejala radioaktivitas semata-mata ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan dan tidak dapat dipengaruhi, dipercepat, atau diperlambat dengan mengubah kondisi di luar inti atom seperti suhu, tekanan, bentuk senyawa kimia dan sebagainya.

II. 1 RADIOAKTIVITAS

II. 1. 1 Kaidah Umum

Ditinjau suatu peluruhan radioaktif sebagai berikut :



Inti X disebut inti induk dan Y adalah inti anak luruhnya.

Laju reaksi peluruhan atau perubahan cacah inti atom induk persatuan waktu sebanding dengan cacah inti atom induk yang ada pada saat itu. Apabila cacah atom induk pada saat t adalah N maka dapat ditulis :

$$\frac{dN}{dt} = - \lambda N \quad (2 - 1)$$

λ = tetapan radioaktif

Apabila persamaan (2 - 1) diintegrasikan akan didapatkan

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2 - 2)$$

N_0 = cacah inti induk pada saat $t = 0$

e = 2,718218

t = waktu

Waktu paro suatu radionuklida adalah waktu yang diperlukan agar cacah atom radionuklida tersebut menjadi setengah dari cacah atom semula

$$N_r = 1/2 N_0 = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2 - 3)$$

II. 1. 2. Aktivitas

Aktivitas suatu radionuklida pada saat t adalah cacah disintegrasi persatuan waktu yang terjadi pada saat t tersebut. Aktivitas pada saat t dilambangkan dengan A_t yang merupakan laju peluruhan radioaktif $d N_t / dt$.

$$A_t = \left| d N_t / dt \right| = \lambda N_t \quad (2 - 4)$$

Dengan cara yang sama untuk mendapatkan persamaan

(2 - 2) diperoleh :

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2 - 5)$$

A_0 = aktivitas pada saat $t = 0$

Apabila harga λ disubstitusi dengan menggunakan persamaan (2 - 3) maka :

$$A_t = A_0 e^{-0,693t/T} \quad (2 - 6)$$

Secara internasional telah disepakati suatu satuan aktivitas yang disebut Bequerel dan disingkat Bq .

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps (disintegrasi inti per sekon)}$$

Disamping satuan Bequerel juga masih digunakan satuan lama yang disebut satuan Curie dan disingkat Ci .

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

II. 1. 3 Peluruhan Gamma

Setelah inti memancarkan zarah β^- , β^+ , α atau peristiwa Tangkapan Elektron, inti atom tersebut akan berada dalam keadaan tereksitasi . Inti yang tereksitasi /teruja ini akan segera menuju ke keadaan dasar (ground state) dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik , yaitu foton gamma.

De-eksitasi suatu anak-luruh bisa terjadi melalui pancaran satu sinar- γ tunggal atau melalui riam (cascade)dari beberapa sinar γ yang terletak di antara beberapa tingkat tenaga dan disebut dengan transisi- γ . Bisa juga terjadi suatu proses de-eksitasi melalui kedua cara tersebut di atas secara bersama-sama, yang dikenal dengan percabangan (gamma branching). Perbandingan kebolehjadian transisi dari satu tingkat tenaga inti

radioaktif tertentu menuju tingkat-tingkat tenaga inti dinamakan intensitas mutlak atau yield, intensitas- γ , gamma ray abundance.

Inti-inti suatu radioaktif yang sama tetapi berbeda tingkat tenaganya disebut isomer inti atau mesomerik. Transisi antara kedua isomer inti yang meluruh tetapi tidak mencapai keadaan dasarnya disebut isomer nongenetik.

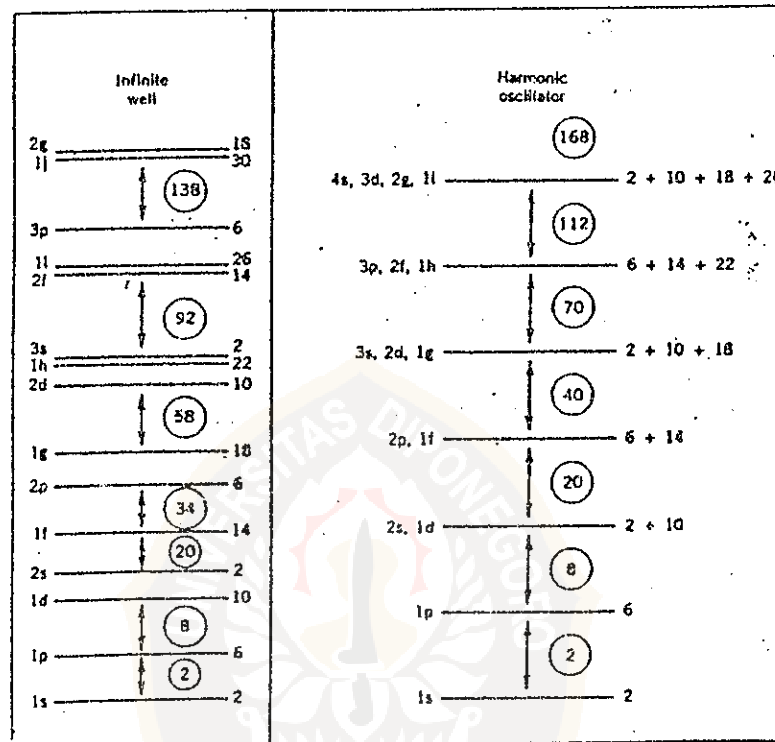
II. 2 TEORI PELURUHAN GAMMA (γ DECAY)

Emisi radioaktif gamma analog dengan emisi radiasi atomik seperti halnya transisi optical atau transisi sinar-X. Emisi gamma dapat terjadi pada semua inti yang tingkat tenaganya teruja ($A > 5$) dan biasanya menyertai pemancaran partikel α dan β , apabila peluruhan tersebut menunjukkan terjadinya tingkat tenaga teruja pada anak luruhnya.

II. 2. 1 Konfigurasi Nukleon

Nukleon-nukleon dalam inti atom menempati tingkat-tingkat tenaga (orbital) seperti halnya elektron-elektron atom. Degenerasi tiap-tiap tingkat tenaga adalah $2(2l + 1)$. Faktor $2l + 1$ berasal dari degenerasi m_l dan faktor 2 berasal dari degenerasi m_s . Perbedaan pokok keduanya terletak pada konfigurasi nukleon dimana indeks bilangan n , bukan menyatakan banyaknya tingkat tenaga dengan harga l .

Susunan nukleon dalam shell inti tergantung pada pemilihan potensial . Konfigurasi nukleon berdasar pada potensial sumur (infinite well) dan osilator harmonik adalah seperti tampak pada gambar : 2 - 1 .



Gambar : 2 - 1 : Konfigurasi Nukleon menurut infinite well dan osilator harmonik .

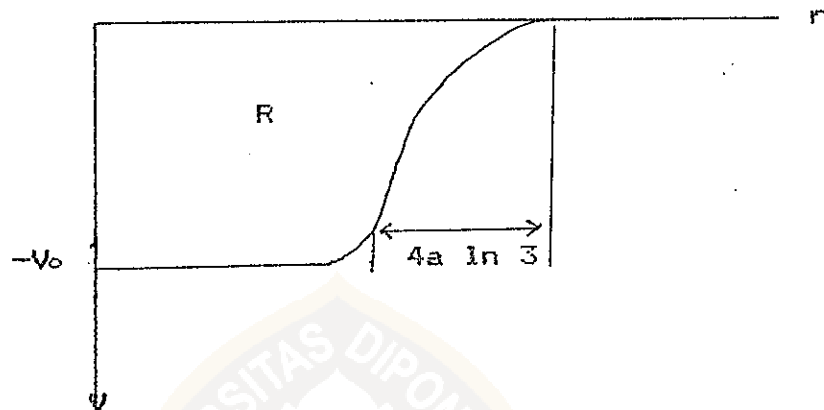
Kedua bentuk potensial tersebut kurang begitu bagus untuk pendekatan bentuk potensial inti . Karena itu perlu dipilih bentuk potensial yang lebih realis dan mendekati bentuk potensial inti. Bentuk potensial inti model Shell dikenal sebagai potensial bentuk pertengahan (intermediate form) , yang dirumuskan :

$$V(r) = \frac{-V_0}{1 + \exp[(r - R)/a]} \quad (2-7)$$

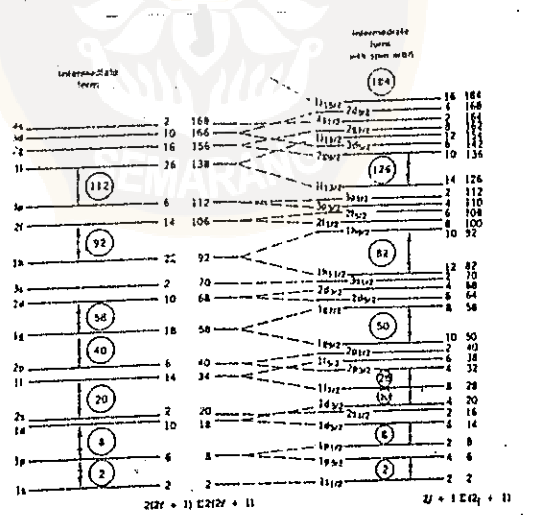
$R =$ jejari rata-rata $= 1,25 A^{1/3}$

$a =$ tebal kulit $= 0,524 \text{ fm}$

$V_0 =$ kedalaman sumur potensial $= 50 \text{ MeV}$



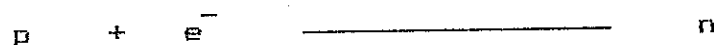
Gambar 2 - 2 : Bentuk realistik potensial model Shell Konfigurasi nukleon berdasarkan pada potensial model shell adalah:



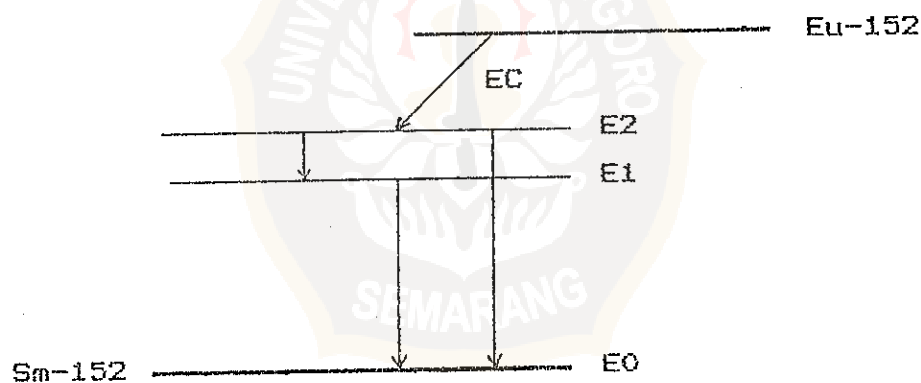
Gambar 2 - 3 : Konfigurasi nukleon berdasarkan intermediate form potensial

II. 2. 2 Energitika Peluruhan Gamma

Radioisotop Eu-152 meluruh menjadi Sm-152 dengan proses tangkapan elektron orbit (Electron Capture) oleh inti yaitu oleh sebuah proton yang kemudian berubah menjadi neutron.



Inti Sm-152 ini masih dalam keadaan tereksitasi karena neutron yang baru saja terbentuk belum berada pada posisi stabil. Inti Sm-152 tereksitasi ini kemudian akan turun ke tingkat tenaga dasar (ground state) dengan memancarkan beberapa jenis tenaga sinar gamma.



Gambar 2 - 4 : Skema tingkat-tingkat tenaga

Sebuah inti dengan massa diam M , meluruh dari tingkat tenaga teruja E_i , menuju ke tingkat tenaga final E_f . Menurut Hukum Kekekalan Momentum Linear inti akhir tidaklah diam , tetapi haruslah mempunyai recoil momentum

p_R yang bersesuaian dengan recoil tenaga kinetik T_R nonrelativistik ($T_R = p_R^2/2M$).

Hukum Kekekalan energi total dan momentum memberikan

$$E_i = E_f + E_\gamma + T_R \quad (2-8)$$

$$0 = p_R + p_\gamma \quad (2-9)$$

Hal ini menunjukkan bahwa inti recoil dan sinar gamma mempunyai momentum yang sama tetapi berlawanan arahnya.

Selisih tenaga antara kedua tingkat tenaga itu adalah $\Delta E = E_i - E_f$, dan dengan menggunakan hubungan relativistik $E_\gamma = p_\gamma c$, maka

$$\Delta E = E_\gamma + \frac{E_\gamma^2}{2Mc^2} \quad (2-10)$$

Persamaan (2-10) mempunyai bentuk penyelesaian

$$E_\gamma = Mc^2 \left[-1 + \left(1 + \frac{2\Delta E}{Mc^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2-11)$$

Karena $\Delta E \ll Mc^2$, maka untuk memperoleh ketelitian pengukuran sampai order $10^{-4} - 10^{-5}$ kita cukup mengambil tiga suku pertama dari ekspansi deret akar

$$E_\gamma = \Delta E - \frac{\Delta E^2}{2Mc^2} \quad (2-12)$$

Persamaan (2-12) dapat juga diperoleh secara langsung dari persamaan (2-10) dengan pendekatan $\Delta E \cong E_\gamma$

Tenaga sinar gamma netto seharusnya adalah tenaga peluruhan maksimum ΔE dikurangi dengan tenaga recoil. Akan tetapi koreksi tenaga recoil ini biasanya diabaikan karena jauh lebih kecil dari ketidakpastian pengukuran tenaga. Pada efek Mossbauer tenaga recoil ini tidak dapat diabaikan.

II. 2. 3 Momentum Angular

Urutan tingkat-tingkat tenaga dalam orbital ditentukan oleh faktor $l \cdot s$. Momentum angular total dari tingkat tenaga tersebut adalah $J = l \pm s$. Untuk nukleon dengan harga $s = 1/2$ harga momentum angular yang mungkin

yaitu $J = l + 1/2$ dan $J = l - 1/2$. Sedangkan degenerasi tiap-tiap orbital adalah sebesar $2(2l + 1)$

Doublet dua buah harga momentum angular dalam satu orbital akan terpisah yang sebanding dengan harga harap dari $l \cdot s$. Harga harap $\langle l \cdot s \rangle$ dapat ditentukan dengan hubungan sebagai berikut :

$$J^2 = (l + s)^2 = l^2 + 2l \cdot s + s^2$$

$$l \cdot s = 1/2 (J^2 - l^2 - s^2)$$

Harga harapnya adalah

$$\langle l \cdot s \rangle = 1/2 [J(J + 1) - l(l + 1) - s(s + 1)]$$

Untuk sembarang harga $l > 0$ doublet terpisah dengan harga sebesar

$$\langle l, s \rangle_{j = l+1/2} - \langle l, s \rangle_{j = l-1/2} = 1/2(2l+1)h^2$$

II. 2. 4 Kaidah Seleksi Momentum Angular dan Paritas

Menurut inti model Shell sifat inti ditentukan oleh nukleon tunggal yang tidak berpasangan. Paritas inti keadaan dasar (groundstate) ditentukan oleh aturan

$$\Pi = (-1)^l \quad l = \text{nomor orbital}$$

Untuk $l = \text{genap}$ paritas inti ganjil dan untuk $l = \text{ganjil}$, paritas inti genap.

Tinjau transisi γ dari keadaan teruja awal dengan momentum angular I_i dengan paritas Π_i , menuju ke keadaan akhir I_f dan paritas Π_f . Pada kejadian ini $I_i \neq I_f$. Hukum Kekekalan Momentum Angular menyatakan bahwa momentum angular total awal sama dengan momentum total akhir, secara vektor dituliskan ;

$$I_i = L + I_f \quad (2 - 13)$$

I_i , I_f , dan L berbentuk vektor segitiga.

Harga-harga yang mungkin untuk L adalah antara I_i+I_f dan $|I_i - I_f|$. Jika $I_i = 3/2$ dan $I_f = 5/2$ terdapat

empat harga L , yaitu $L = 1, 2, 3$ dan 4 , yang berarti medan radiasi terdiri dari gabungan radiasi dipole, quadrupole, octupole dan hexadecapole.

Tipe radiasi yang terpancar, yaitu tipe listrik atau magnetik ditentukan oleh paritas relatif tingkat tenaga awal dan final. Jika tidak terjadi perubahan paritas ($\Delta \Pi = \text{no}$), paritas medan radiasinya genap dan jika terjadi perubahan ($\Delta \Pi = \text{yes}$), paritas medan radiasinya ganjil.

Transisi tipe listrik berparitas genap apabila $L = \text{genap}$ dan transisi magnetik paritas genap bila $L = \text{ganjil}$. Untuk $\Delta \Pi = \text{yes}$, transisi berupa multipole listrik ganjil dan multipole magnetiknya genap. Untuk $\Delta \Pi = \text{No}$, transisi berupa multipole listrik genap dan multipole magnetiknya ganjil. Dengan demikian dapat disimpulkan kaidah seleksi momentum angular dan paritas untuk transisi gamma sebagai berikut :

$$|I_i - I_f| \leq L \leq |I_i + I_f| \quad (L \neq 0)$$

$\Delta \Pi = \text{No}$; listrik genap , magnetik ganjil

$\Delta \Pi = \text{Yes}$; listrik ganjil , magnetik genap

II. 2. 5 Konversi Internal

Sinar- γ yang dipancarkan oleh inti atom dapat berinteraksi dengan elektron-elektron pada orbital atom itu sendiri . Biasanya interaksi semacam itu terjadi pada kulit K , L atau M . Sinar γ akan menyerahkan seluruh tenaganya kepada elektron dan elektron akan dipancarkan

keluar dari sistem atom dengan tenaga gerak sebesar tenaga sinar gamma dikurangi tenaga ikat elektron. Peristiwa ini dinamakan konversi internal (IC) dan elektron yang dipancarkan keluar dinamakan *elektron konversi*.

II. 3 INTERAKSI SINAR- γ DENGAN MATERI

Spektrum sinar gamma dapat diamati dari hasil interaksi antara sinar gamma dengan detektor. Untuk dapat membaca spektrum gamma diperlukan pemahaman tentang gejala dan mekanisme yang terjadi dalam proses interaksi sinar gamma dengan materi. Ada tiga proses interaksi yang penting dalam spektroskopi gamma yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan efek pembentukan pasangan.

II. 3. 1 Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton gamma dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada bagian dalam atom. Karena elektron itu terikat kuat-kuat maka elektron akan menyerap seluruh tenaga foton gamma. Sebagai akibatnya elektron akan terpental keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton gamma dengan tenaga ikat elektron..

$$E_e = E_\gamma - W \quad (2 - 14)$$

$$E_e = \text{tenaga kinetik elektron}$$

E_γ = tenaga foton gamma

W = tenaga ikat elektron

Penataan kembali konfigurasi elektron dengan jalan pengisian lowongan yang ditinggalkan foto elektron mengakibatkan deret pancaran sinar γ - X karakteristik.

II. 3. 2 Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi antara foton gamma dan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah, misalnya elektron pada kulit terluar suatu atom. Apabila foton gamma menumbuk elektron jenis ini maka sebagian tenaga foton gamma akan diserahkan pada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut θ terhadap arah gerak foton gamma mula-mula. Tenaga sinar gamma yang terhambur setelah tumbukkan merupakan fungsi tenaga gamma mula-mula dan sudut hamburan.

$$E_\gamma = \frac{E_0}{1 + (E_0/m_0c^2)(1 - \cos \theta)} \quad (2 - 15)$$

E_γ = tenaga sinar gamma terhambur

E_0 = tenaga sinar gamma mula-mula

m_0 = massa diam elektron

c = laju cahaya dalam hampa

θ = sudut hamburan

Tenaga elektron Compton E_e adalah selisih antara tenaga

sinar gamma mula-mula dan tenaga sinar gamma terhambur.

$$E_0 = E_0 \frac{(E_0/m_0c)^2 (1 - \cos \theta)}{1 + (E_0/m_0c)^2 (1 + \cos \theta)} \quad (2 - 16)$$

Sinar gamma akan kehilangan tenaga maksimum apabila terjadi tumbukan dengan $\theta = 180^\circ$ terhadap elektron. Karena E_γ dapat bervariasi antara harga minimum untuk $\theta = 180^\circ$ dan maksimum untuk $\theta = 0^\circ$, maka spektrum tenaga elektron Compton akan terbentang dari tenaga nol sampai tenaga maksimum.

II. 3. 3 Pembentukan Pasangan

Apabila foton gamma yang bertenaga cukup tinggi melewati medan listrik yang sangat kuat di sekitar inti atom, maka foton gamma akan lenyap dan akan muncul pasangan elektron - positron (e^- dan e^+). Peristiwa ini disebut efek pembentukan pasangan (pair production). Karena tenaga diam elektron dan positron sebesar 0,511 Mev, maka efek pembentukan pasangan hanya terjadi pada sinar gamma yang memiliki tenaga lebih besar dari $2 \times 0,511 \text{ Mev} = 1,022 \text{ Mev}$. Apabila tenaga sinar gamma mula-mula adalah E_0 , maka kelebihan tenaga dibagikan diantara elektron dan positron dalam bentuk tenaga gerak, yang memenuhi persamaan

$$E_0 = 2 m_0c^2 + E_k^+ + E_k^- \quad (2 - 17)$$

E_k^+ dan E_k^- adalah tenaga elektron dan positron.

Karena positron merupakan zarah yang tak stabil dan

mempunyai umur sangat pendek , maka dalam waktu singkat positron akan bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya. Peristiwa anihilasi ini ditandai dengan adanya dua buah foton $0,511$ Mev yang arahnya berlawanan.

II. 4 DETEKTOR GAMMA

Untuk melakukan pengukuran zat radioaktif diperlukan detektor yang dapat berinteraksi secara cukup efisien dengan sinar radioaktif yang diselidiki. Pada umumnya detektor radiasi dapat dibagi menurut tiga golongan , yaitu :

- detektor isi gas
- detektor sintilasi
- detektor semikonduktor

Detektor yang biasa digunakan dalam spektroskopi gamma biasanya dari jenis detektor sintilasi , misalnya detektor NaI(Tl) , dan detektor semikonduktor , misalnya detektor Ge(Li) atau detektor semikonduktor kemurnian tinggi (HPGe) . Setiap detektor yang digunakan dalam spektroskopi energi harus dapat memenuhi persyaratan bahwa pulsa yang dihasilkan sebanding secara linear dengan tenaga radiasi dan memiliki resolusi (daya pisah) yang tinggi pada seluruh tingkat tenaga.

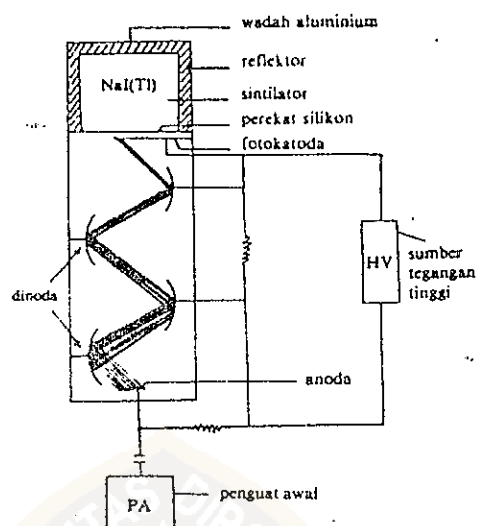
II. 4. 1 Detektor NaI(Tl)

Detektor NaI(Tl) adalah salah satu detektor dari jenis detektor sintilasi. Detektor ini terbuat dari bahan yang dapat memancarkan kelipan cahaya apabila berinteraksi dengan sinar gamma. Bahan sintilator yang digunakan dalam detektor NaI(Tl) adalah kristal tunggal Natrium Iodida yang dikotori dengan sedikit Tallium.

Sinar gamma yang masuk ke dalam detektor akan berinteraksi dengan atom-atom bahan sintilator menurut efek fotolistrik, hamburan Compton, dan efek pembentukan pasangan. Elektron bebas sebagai hasil interaksi selanjutnya akan menyerahkan tenaganya melalui proses ionisasi dan penetralan (excitation) atom-atom sintilator. Tenaga yang diserap sebagian besar berbentuk tenaga panas dan sebagian dilepaskan dalam bentuk foton cahaya kelipan.

Bahan sintilator NaI(Tl) dihubungkan dengan tabung pelipat ganda foton (Photo Multiplier Tube) . Pada ujung tabung pelipat ganda foton terdapat elektroda peka cahaya yang disebut fotokatoda. Fotokatoda ini ini akan melepaskan elektron apabila permukaannya terkena tumbukan foton kelipan. Makin tinggi tenaga sinar gamma, makin besar foton kelipan yang dihasilkan dan makin besar pula elektron yang dilepaskan dari fotokatoda, sehingga setelah melewati tingkat-tingkat dinoda akan dihasilkan sejumlah muatan yang besar. Sinar gamma yang bertenaga tinggi akan

menghasilkan pulsa yang tinggi, sedang sinar gamma bertenaga rendah akan menghasilkan pulsa yang rendah pula.



Gambar 2 - 5 : Detektor NaI(Tl)

Antara fotokatoda dan anoda terdapat dinoda-dinoda yang mempunyai tegangan tinggi yang diatur sedemikian rupa sehingga elektron yang dilepaskan fotokatoda dipercepat dari dinoda satu ke dinoda lainnya. Dalam proses tumbukan akan dilepaskan elektron-elektron lain yang kemudian dipercepat menuju dinoda berikutnya, demikian seterusnya sampai mencapai anoda.

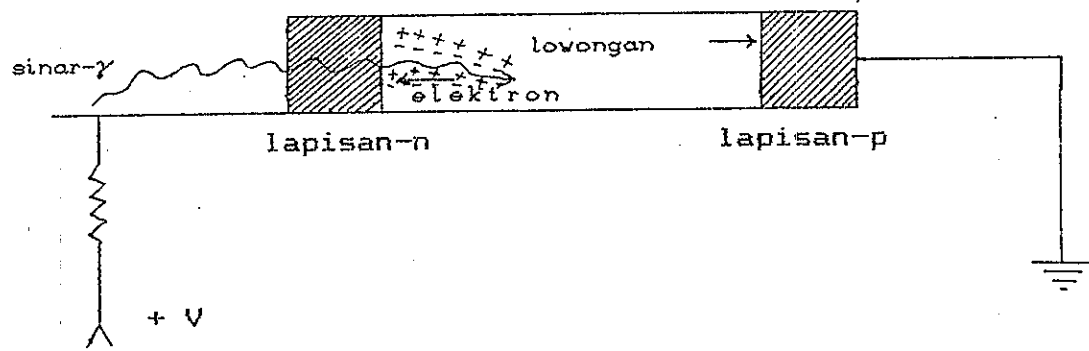
Sebuah tabung pelipat ganda elektron biasanya mempunyai 10 tingkat dinoda atau lebih dan pada anoda bisa didapatkan faktor penggandaan antara 10^7 - 10^8 kali. Dengan demikian sinar gamma yang dideteksi akan

menghasilkan pulsa listrik sebagai keluaran (output) detektor NaI(Tl). Pulsa ini akan diproses lebih lanjut oleh penguat awal dan peralatan elektronik lainnya untuk dapat dipakai dalam analisa spektroskopi gamma.

II. 4. 2 Detektor Semikonduktor

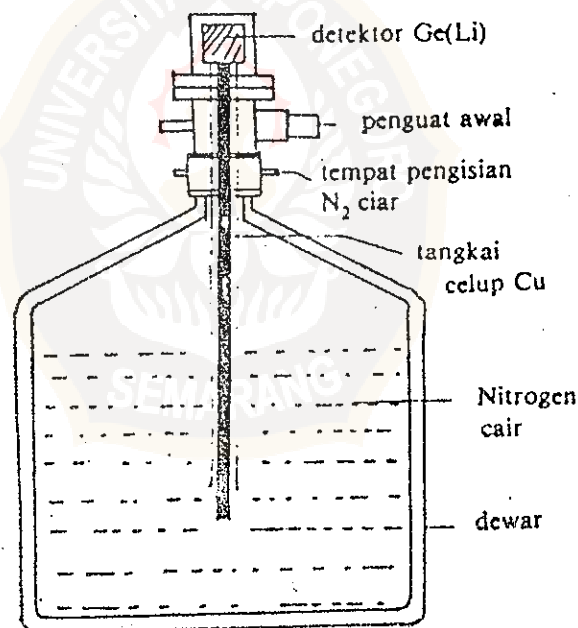
II. 4. 2. 1 Detektor Ge(Li)

Detektor Ge(Li) adalah detektor semikonduktor jenis p-i-n. Apabila suatu sinar gamma mengenai detektor Ge(Li) maka dalam interaksi yang terjadi terbentuk pasangan elektron-lowong pada daerah intrinsik dalam detektor. Oleh karena pengaruh medan listrik (reverse biased) yang dikenakan, elektron akan bergerak menuju lapisan-p. Pada ujung-ujung elektroda elektron dan lowongan akan mengakibatkan perubahan beda potensial yang menimbulkan sinyal pulsa. Tinggi pulsa sebanding dengan tenaga foton gamma yang berinteraksi dengan detektor. Sinyal pulsa yang dihasilkan langsung diterima oleh penguat awal yang peka terhadap muatan.



Gambar 2 - 6 : Skema Detektor Ge(Li)

Karena beda tenaga dalam kristal germanium sangat kecil ($\Delta E = 0,7 \text{ eV}$) maka untuk mengatasi arus bocor balik, detektor Ge(Li) harus dioperasikan pada suhu yang sangat rendah. Apabila hal ini tidak dilakukan arus bocor akan menghasilkan derau dan merusakkan daya pisah detektor. Untuk mendinginkan detektor Ge(Li) dipakai medium pendingin Nitrogen cair yang bersuhu 77 K. Oleh sebab itu detektor Ge(Li) biasanya dimasukkan dalam suatu wadah hampa yang dimasukkan dalam dewar Nitrogen cair.

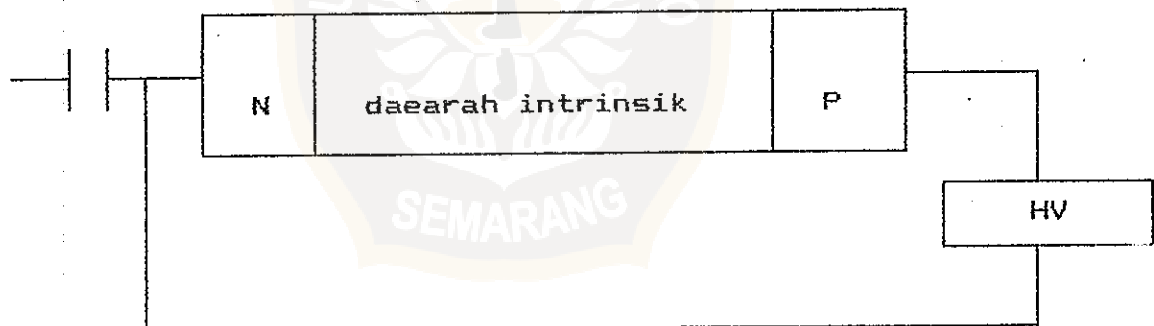


Gambar 2 - 7 : Sistem Cryostat detektor Ge(Li)

II. 4. 2. 2. Detektor Ge Kemurnian Tinggi (HPGe)

Detektor HPGe adalah detektor semikonduktor berjenis p-i-n. Detektor ini terbuat dari sambungan p - n yang dibias balik. Terjadinya medan listrik bias - terbalik membentuk daerah sambungan (depletion layer) menjadi bahan intrinsik.

Apabila suatu sinar gamma mengenai detektor HPGe , maka dalam interaksi yang terjadi terbentuk pasangan elektron-lowongan pada daerah intrinsik detektor. Karena pengaruh medan listrik bias balik yang dikenakan, elektron akan bergerak menuju lapisan - n dan lowongan bergerak menuju lapisan -p. Kejadian ini akan menghasilkan sinyal pulsa dengan tinggi pulsa sebanding dengan tenaga foton gamma yang berinteraksi dengan detektor.



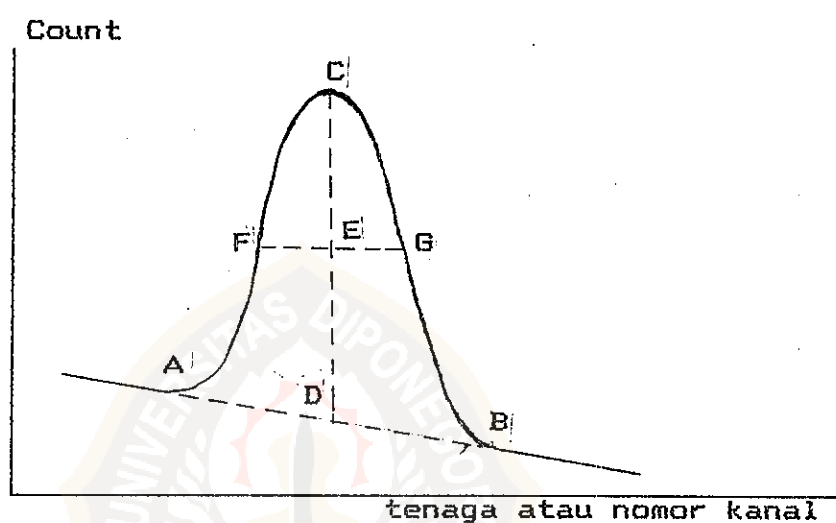
Gambar 2 - 8 : Detektor p - i - n (HPGe)

Apabila dioperasikan , detektor germanium kemurnian tinggi perlu didinginkan dengan menggunakan Nitrogen cair 77 K , untuk mengatasi arus bocor balik yang merusak daya pisah detektor (Knoll , Glenn F . 1979).

II.4.3. Daya Pisah Detektor

Daya pisah atau resolusi detektor didefinisikan sebagai kemampuan detektor untuk memisahkan dua puncak spektrum gamma yang mempunyai tenaga berdekatan.

Ukuran daya pisah detektor dinyatakan dengan Lebar Setengah Tinggi Maksimum atau lebih dikenal dengan FWHM (Full Width Half Maximum).



Gambar 2 - 9 : Penentuan FWHM melalui spektrum γ

Apabila dalam sebuah puncak tenaga gamma ditarik garis vertikal pada ujung puncak (C) memotong garis yang menghubungkan kedua kakinya (AB) di D, maka CD adalah tinggi maksimum. Bila titik E adalah titik tengah CD, maka panjang garis mendatar (FG) yang memotong pertengahan garis tegak tadi (CD) dinamakan FWHM. Biasanya FWHM dinyatakan dalam satuan keV atau dapat juga dalam persen terhadap tenaga puncak tersebut.

$$R = \frac{\text{FWHM}}{E} \times 100 \% \quad (2 - 18)$$

R = resolusi detektor dalam persen

FWHM = lebar setengah tinggi maksimum

E = tenaga puncak

Daya pisah suatu detektor adalah fungsi tenaga sinar gamma. Makin tinggi tenaga gamma makin rendah daya pisah detektor. Detektor semikonduktor mempunyai resolusi yang jauh lebih baik dari pada detektor sintilasi.

II.4.4 Efisiensi Detektor

Efisiensi detektor adalah ukuran yang menghubungkan antara pulsa yang dihasilkan oleh detektor jika diberikan sumber sinar gamma dengan aktivitasnya. Dalam spektroskopi gamma, terutama dalam analisa kuantitatif digunakan efisiensi mutlak, yaitu nisbah (ratio) cacah sinyal pulsa yang diberikan detektor terhadap aktivitas mutlak sumber gamma, yaitu cacah sinar gamma yang dihasilkan oleh sumber gamma ke segala arah. Dengan demikian harga efisiensi mutlak bergantung pada jarak detektor - sumber. Besarnya efisiensi mutlak sebuah

detektor gamma adalah :

$$\epsilon (E) = \frac{\text{Cps}}{\text{dps} \times Y (E)} \quad (2 - 19)$$

$\epsilon (E)$ = efisiensi mutlak pada tenaga E

Cps = cacah per sekon

dps = disintegrasi per sekon

$Y (E)$ = intensitas mutlak sinargamma (yield)

II.5 PERANGKAT SPEKTROSKOPI GAMMA

II.5.1 Penguat Awal, Penguat, dan Pembentukan Pulsa

Pulsa-pulsa yang dihasilkan detektor tidak dapat langsung diproses dalam MCA, tetapi harus melalui serangkaian proses pembentukan pulsa dan penguatan. Penguat Awal (Pre-Amplifier) dan Penguat (Amplifier) berfungsi sebagai pembentuk dan penguat pulsa sehingga sinyal yang dihasilkan memenuhi syarat bentuk dan amplitudo untuk dapat diolah oleh MCA (Susetyo, Wisnu. 1988).

II.5.1.1 Pembentukan Pulsa

Pulsa keluaran sebuah detektor adalah pulsa ekor (tail pulse) yang memiliki waktu naik sangat singkat, sekitar 1μ detik, dan memerlukan waktu turun sekitar 50 sampai 100μ detik. Untuk menghindari gejala penumpukan pulsa (pulsa pile-up) harus dilakukan proses pembentukan pulsa. Pembentukan pulsa dapat dilakukan dengan rangkaian pendiferensial dan pengintegral. Dari kedua rangkaian

tersebut dapat diperoleh pulsa bipolar dan unipolar. Bentuk pulsa biasanya disesuaikan dengan jenis detektor yang digunakan.

II.5.1.2 Penguat Awal

Ada dua jenis penguat awal yang dapat dipakai, yaitu penguat awal peka tegangan dan penguat awal peka muatan. Pada spektroskopi gamma lebih sering digunakan penguat awal peka muatan karena kestabilan yang cukup baik. Alat ini mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut :

- a. Untuk melakukan amplifikasi awal terhadap pulsa keluaran detektor.
- b. Untuk melakukan pembentukan pulsa pendahuluan.
- c. Untuk mencocokkan impedansi keluaran detektor dengan kabel sinyal masukan ke penguat.
- d. Untuk mengadakan perubahan muatan menjadi tegangan pada pulsa keluaran detektor.

II.5.1.3 Penguat

Penguat memiliki fungsi utama mempertinggi sinyal dan memberi bentuk pulsa. Penguatan tegangan dilakukan hingga mencapai amplitudo yang sesuai dengan alat penganalisis tinggi pulsa. Linearitas penguatan merupakan syarat yang harus dipenuhi sebagai penguat.

Bentuk pulsa keluaran penguat ditentukan antara lain oleh pertimbangan nisbah sinyal derau dan kebocoran dengan kemampuan kerja peralatan elektronik lainnya.

II.5.2 Multi Channel Analyzer (MCA)

Pada dasarnya MCA dapat dianggap gabungan dari penganalisis salur tunggal (SCA) yang memiliki lebar jendela yang sama. Fungsi utama sebuah MCA adalah membuat kurva grafik spektrum tinggi pulsa yang masuk sehingga diperoleh hubungan bahwa nomor kanal menunjukkan tinggi pulsa (spektrum tenaga) dan isi cacah setiap kanal menunjukkan banyaknya pulsa (intensitas) yang memiliki tinggi pulsa tertentu.

Dalam berbagai pengukuran distribusi tinggi pulsa, dua faktor utama dalam pemilihan jumlah kanal yang harus digunakan dalam pengukuran adalah .

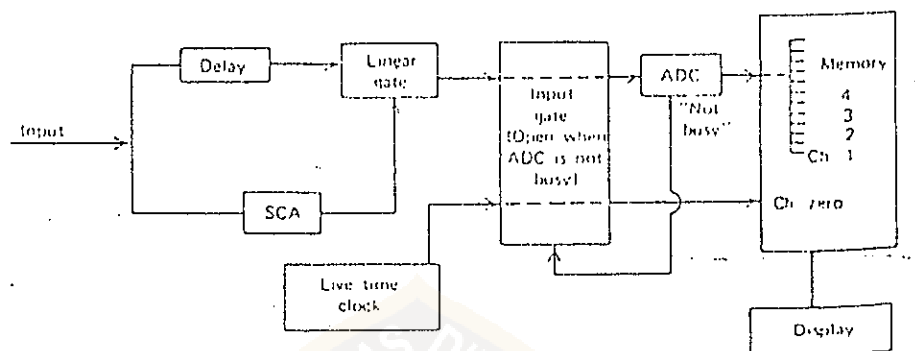
- a. tingkat resolusi yang dibutuhkan
- b. jumlah total cacah yang dapat disediakan

Dengan dimilikinya jumlah kanal yang banyak dan kapasitas besar setiap kanal maka diharapkan pendekatan diskrit semakin mendekati distribusi kontinue.

II.5.2.1 Fungsi dan Komponen Dasar MCA

MCA moderen terdiri dari komponen dasar yang dilukiskan pada gambar : 2 - 10. Operasinya didasarkan pada prinsip konversi sinyal analog (amplitudo pulsa) menjadi bilangan digital yang ekuivalen. Hasil konversi akan menunjukkan alamat memori terkait dan isi memori tersebut ditambah satu (proses tambah satu). Proses ini terus diulang selama selang waktu pengukuran. Jadi pengkonversi analog ke digital (ADC) merupakan bagian

kunci dalam menentukan unjuk kerja serta karakteristik suatu analyzer (Glenn , F. Knoll .1979). Jumlah lokasi teralamat memori sesuai dengan penguatan konversi (conversion gain) ADC.



Gambar 2 - 10 : Blok diagram fungsional sebuah MCA

Sebuah gerbang masukan (input gate) biasanya disediakan untuk menahan pulsa masukan agar tidak sampai ke ADC selama selang waktu sibuk (busy time) pendigitalan pulsa sebelumnya. ADC menyediakan suatu sinyal nalar yang memegang gerbang masukan terbuka selama waktu tak terpakai . Pada laju pencacahan yang tinggi, MCA akan memiliki selang waktu dimana MCA tidak dapat memproses sinyal masukan (waktu mati).

Untuk mengetahui fraksi waktu hidup (live time) suatu MCA, disediakan suatu detak internal yang

mengeluarkan pulsa-pulsa melalui gerbang masukan yang sama dan menyimpannya dalam lokasi memori khusus (biasanya dikenal sebagai kanal nol). Dalam rangka usaha mengurangi waktu mati, biasanya MCA juga menyediakan sebuah Linear Gate lain yang dikendalikan oleh sebuah SCA (Single Channel Analyzer). Pulsa masukan masuk secara paralel ke SCA dan setelah melewati suatu penunda, masuk ke input linear dari gerbang ini. Dengan demikian pulsa-pulsa di luar batas kriteria didiskriminasi SCA (misal derau atau pulsa di luar rentang yang diinginkan) tidak akan mencapai ADC. Isi dari memori setelah suatu pengukuran dapat ditampilkan atau direkam dalam bentuk angka atau histogram pada sebuah CRT atau printer.

II.5.2.2 Waktu Mati MCA

Waktu mati MCA adalah lamanya waktu dimana MCA menolak atau tidak dapat memproses pulsa yang masuk. Waktu mati MCA terdiri atas dua komponen yaitu :

- a. waktu proses (processing time)
- b. waktu penyimpanan memory (memory storage time)

Waktu proses adalah waktu yang dibutuhkan ADC untuk mengubah pulsa masukan menjadi suatu nilai digital yang setara. Selain pulsa telah didigitalkan, biasanya beberapa mikro detik tambahan dibutuhkan untuk menyimpan pulsa pada posisi yang benar dalam memory. Untuk kendali analyzer akan menahan gerbang masukan (input gate) tertutup untuk suatu jangka waktu yang sama dengan dengan waktu mati.

Pemakai MCA biasanya harus menyusun kondisi percobaan sedemikian hingga fraksi waktu mati pada berbagai pengukuran tidak melampaui 30 % atau 40 % untuk mencegah distorsi spektrum (Glenn , F . Knoll . 1979).

