

BAB II

DASAR TEORI

2.1 RADIOAKTIVITAS

Radioaktivitas adalah perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi yang berupa zarah dan atau gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam inti atom tentu saja membawa perubahan dari satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu unsur menjadi unsur yang lain ini, disebut disintegrasi inti atau *peluruhan radioaktif*.

Perubahan-perubahan dalam inti ini akan disertai oleh beberapa mekanisme yang berbeda, yang meliputi pancaran partikel alfa (α), partikel beta (β), positron dan tangkapan elektron orbital. Selanjutnya untuk tiap-tiap reaksi tersebut ada yang disertai radiasi gamma (γ) dan ada yang tidak. Suatu inti atau nuklida yang mengalami proses-proses tersebut diatas disebut *radionuklida*.

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

Peluruhan radioaktif hanya tergantung pada dua faktor, khususnya kestabilan inti, yang meliputi perbandingan neutron dan proton yang ada pada inti nuklida dan hubungan massa dan energi antara inti induk, inti

hasil peluruhan dan partikel yang dipancarkan. Jadi suatu inti nuklida yang tidak stabil akan senantiasa meluruh dengan memancarkan beberapa partikel untuk mencapai kesetabilannya. (Wisnu, 1984)

2.1.1. Kinetika Peluruhan

Ditinjau suatu peluruhan radioaktif sebagai berikut: X (radioaktif) \longrightarrow Y (stabil)

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_t maka dapat ditulis :

$$\frac{d N_t}{d t} = -\lambda N_t \quad (2-1)$$

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

2.1.2. Waktu Paro ($t_{1/2}$)

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut waktu paro ($t_{1/2}$), yang dapat didefinisikan sebagai

waktu yang diperlukan suatu radionuklida untuk meluruh menjadi separuh bagian dari jumlah semula. Waktu paro ini khas untuk tiap-tiap radionuklida dan tidak dapat dipengaruhi oleh mekanisme apapun seperti reaksi kimia ataupun reaksi fisika. Jadi waktu paro dari radionuklida tidak dapat diubah dan mempunyai jangkauan dari mikro detik hingga jutaan tahun.

Dari definisi waktu paro tersebut, maka dapat diperoleh suatu hubungan antara banyaknya radionuklida sebelum dan sesudah n kali waktu paro adalah :

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2^n} \quad (2-3)$$

A_0 adalah banyaknya aktivitas mula-mula, A adalah aktivitas setelah mengalami n waktu paro.

Apabila persamaan diatas digambarkan pada kertas semi logaritma yang menggambarkan hubungan antara aktivitas terhadap waktu paro, dan kemudian dalam beberapa waktu didapatkan suatu hasil yang identik dengan persamaan (2-2) yaitu : (Wisnu, 1984)

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (2-4)$$

λ adalah konstanta peluruhan, sehingga didapat hubungan :

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}}$$

$$\lambda t_{1/2} = \ln 2$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2-5)$$

$t_{1/2}$ = waktu paro suatu radionuklida

2.1.3. 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 $d N_t / d t$.

$$A_t = \left| d N_t / d t \right| = \lambda N_t \quad (2-6)$$

Dengan cara yang sama untuk mendapatkan persamaan (2-2) diperoleh :

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2-7)$$

A_0 = aktivitas radioaktif pada saat $t = 0$

Apabila harga λ disubstitusi dengan menggunakan persamaan (2-5) maka :

$$A_t = A_0 e^{-0,693t/T} \quad (2-8)$$

2.1.4. Satuan Aktivitas

Secara internasional telah disepakati suatu satuan aktivitas yang disebut Becquerel dan disingkat Bq. Satu becquerel didefinisikan sebagai satu disintegrasi inti per detik (dps).

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ dps}$$

kelipatan dari satuan ini adalah :

$$1 \text{ kilo becquerel} = 1 \text{ kBq} = 1.000 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ mega becquerel} = 1 \text{ MBq} = 1.000.000 \text{ Bq}$$

Disamping satu becquerel, masih dipergunakan satuan lama yang disebut satuan curie yang disingkat Ci.

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

Kelipatan satuan curie yang biasa dipakai adalah :

1 mili curie = 1 mCi = $3,7 \times 10^7$ Bq

1 mikro curie = 1 μ Ci = $3,7 \times 10^4$ Bq

1 nano curie = 1 nCi = 37 Bq

2.2 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 produksi pasangan.

2.2.1 Efek Fotolistrik

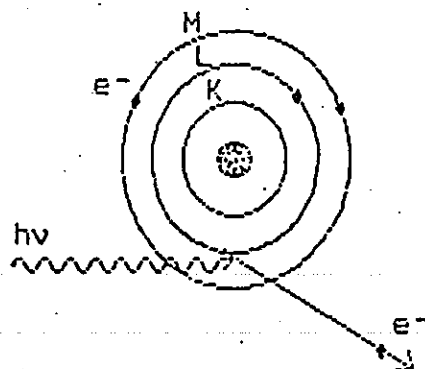
Efek Fotolistrik adalah interaksi antara foton gamma dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada bagian dalam atom. Karena elektron itu terikat kuat-kuat maka elektron akan menyerap seluruh tenaga foton gamma. Sebagai akibatnya elektron akan terpental keluar dari atom dengan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

$$E_e = E_\gamma - W \quad (2-9)$$

E_e = tenaga kinetik elektron

E_γ = tenaga foton gamma

W = tenaga ikat elektron



Gambar (2-1). Skema efek fotolistrik.

(Sudarti, 1995)

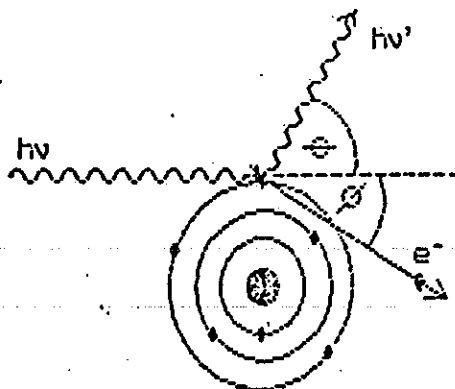
Dari persamaan diatas terlihat bahwa efek fotolistrik akan terjadi jika $E_\gamma > W$ dan setelah peristiwa ini foton γ akan lenyap.

Pada proses fotolistrik terjadi serapan seluruh energi gamma, jadi distribusi pulsa pada peristiwa inipun terjadi secara karakteristik. Sehingga dalam spektrumnya akan berbentuk diskrit pada energi tertentu.

2.2.2 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

tumbukan merupakan fungsi tenaga gamma mula-mula dan sudut hamburan.



Gambar (2-2). Skema efek compton.
(Sudarti, 1995)

$$E_{\gamma} = \frac{E_0}{1 + C \frac{E_0}{m_0 C^2} (1 - \cos \theta)} \quad (2-10)$$

- E_{γ} = tenaga sinar gamma terhambur
- E_0 = tenaga sinar gama mula-mula
- m_0 = massa diam elektron
- C = laju cahaya dalam hampa
- θ = sudut hamburan

Berdasarkan hukum kekekalan tenaga, tentu saja tenaga elektron compton E_e adalah selisih antara tenaga sinar gamma mula-mula dan tenaga sinar gamma terhambur.

$$E_e = E_0 - E_{\gamma}$$

Apabila harga E_{γ} disubstitusikan dari persamaan (2-10) maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$E_e = E_0 \frac{(E_0/m_0c^2)(1-\cos\theta)}{1 + (E_0/m_0c^2)(1-\cos\theta)} \quad (2-11)$$

Sinar gamma akan kehilangan tenaga maksimum (elektron Compton akan menerima tenaga maksimum) apabila terjadi tumbukan frontal dengan $\theta = 180^\circ$ terhadap elektron. Pada saat demikian tenaga elektron Compton adalah :

$$E_e (\text{max}) = \frac{E_0}{1 + m_0c^2 / 2E_0} \quad (2-12)$$

Apabila sudut antara elektron Compton dengan arah sinar gamma mula-mula dinyatakan dalam ϕ , maka sudut tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$\tan \phi = \frac{1}{1 + (E_0/m_0c^2) \tan(\phi/2)} \quad (2-13)$$

Dari persamaan ini tampak bahwa karena θ berkisar antara 0° sampai 180° , maka ϕ hanya berkisar antara 0° sampai 90° . Hal ini berarti bahwa elektron Compton selalu terhambur ke depan dan tidak pernah ke belakang.

2.2.3 Produksi Pasangan

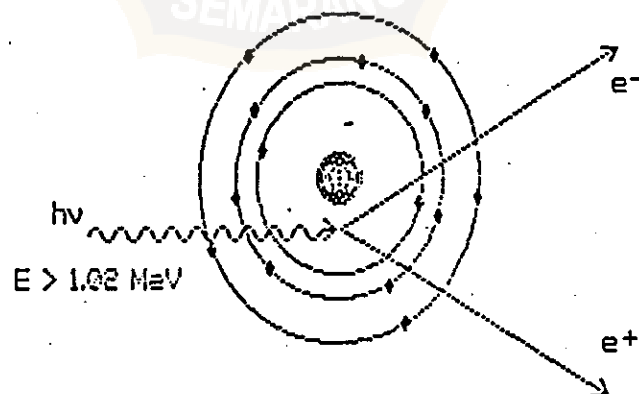
Apabila foton gamma yang bertenaga cukup tinggi melewati medan listrik yang sangat kuat disekitar inti atom, maka foton gamma akan lenyap dan akan muncul pasangan elektron-positron (e^- dan e^+). Peristiwa ini disebut efek pembentukan pasangan (pair production).

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 :

$$E_0 = 2 m_0 c^2 + E_k^- + E_k^+ \quad (2-15)$$

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

Karena positron merupakan zarah yang tak stabil dan mempunyai umur yang sangat pendek, maka dalam waktu singkat positron akan bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya. Peristiwa anhilasi ini ditandai dengan adanya dua buah foton 0,511 Mev yang arahnya berlawanan. (Wisnu, 1984)



Gambar 2.3. Skema Produksi Pasangan
(Sudarti, 1995)

2.3 RADIASI LINGKUNGAN

Radiasi lingkungan dapat berasal dari sumber alam atau sumber radiasi buatan manusia. Zat radioaktif alam yang berupa debu atau gas umumnya berasal dari kulit bumi yang banyak mengandung radionuklida alam seperti : ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th beserta peluruhannya.

Karena radiasi alam berasal dari batu-batuan dan proses dalam tanah, maka akan berlangsung secara terus-menerus sedang yang berasal dari sumber buatan manusia biasanya tidak berlangsung tetap dan tidak melibatkan daerah yang luas.

Walaupun radiasi pengion dapat merusak dan mengganggu keselamatan lingkungan namun sebaliknya radiasi dapat pula dipakai untuk maksud-maksud damai yang berkaitan dengan kesejahteraan hidup manusia. Tindakan secara dini telah banyak dilakukan untuk memperkecil cemaran radioaktif dilingkungan dan mengenai efek radiasi yang ditimbulkannya dengan cara mempelajari sifat radionuklida didalam lingkungan dan tubuh manusia. (Analiah, 1995)

2.3.1. Sumber Radiasi Alam

Sumber radiasi alam terjadi secara terus menerus , sehingga sangat mempengaruhi pencacahan dan menyebabkan efek yang merusak terhadap lingkungan. Karena radiasi ini ditimbulkan oleh gejala alam , maka sangat sulit sekali untuk mengurangi secara alami. Sumber radiasi ini dapat berasal dari radiasi kosmis dan radiasi dari bumi.

2.3.1.1. Radiasi Kosmis

Radiasi kosmis dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Radiasi primer

Radiasi ini berasal dari angkasa luar, yaitu bintang-bintang dan matahari yang berinteraksi dengan atmosfer. Terdiri dari 79% proton, 20% partikel alfa dan 0,7% karbon, nitrogen, oksigen dan lainnya.

2. Radiasi sekunder

Radiasi sekunder sebagian berasal dari partikel-partikel yang menuju ke bumi dan berinteraksi dengan medan magnet bumi yang menghasilkan elektron-elektron, sinar gamma, neutron dan meson.

2.3.1.2. Radiasi Dari Bumi

Sumber radiasi dari permukaan bumi ini dapat berasal dari deret Uranium (U-235), deret Thorium (Th-232), dan Rb-87. Unsur-unsur ini dapat terbentuk di kulit bumi bersama-sama terbentuknya bumi dan dikenal sebagai *radionuklida primordial*.

Paparan radiasi dari tiap tempat berbeda-beda. Ada beberapa tempat tertentu yang tanah atau batuanannya mengandung kadar Uranium dan Thorium yang tinggi. Uranium dan Thorium pada umumnya terdapat di batuan fosfat yang digunakan sebagai pupuk. Uranium sendiri terdiri dari

U-238 dan U-235. Kedua macam Uranium ini di alam selalu kita dapatkan bersama-sama, dimana perbandingannya adalah U-238 (99,3%) dan U-235 (0,7%).

1. Radioaktivitas di udara

Radioaktivitas latar di udara terutama disebabkan oleh gas Radon dan Thoron, yang merupakan hasil peluruhan dari deret U-238 dan Th-232. Kedua gas ini peluruhannya dapat mendatangkan efek yang merusak pada manusia. Apabila terhirup secara berlebihan dapat menyebabkan kanker paru-paru. Kedua gas tersebut terbentuk secara alamiah dan terlarut dalam udara. Pada rumah terutama material bangunannya mengandung gas Radon melebihi kewajaran sampai mencapai 260 Bq/m^3 udara.

2. Radioaktivitas di dalam air

Didalam air laut banyak mengandung K-40 , sedangkan di dasar laut sendiri mengandung Ra-226 yang konsentrasinya homogen berasal dari sedimen dan pada umumnya konstan. Ra-226 terdapat juga di dalam air tanah dan sumber air panas. Di sumber air panas konsentrasi Ra-226 lebih kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi Rn-222. Ra-226 sendiri mempunyai sifat seperti Calcium, yaitu terserap oleh tanaman , sampai pada manusia melalui makanan dan akan berada di tulang atau kerangka. Air hujan juga mengandung zat radioaktif yang berasal dari tanah. (Didik, 1995)

2.3.2. Radiasi Buatan Manusia

Sumber radiasi buatan manusia telah banyak digunakan, seperti untuk radioisotop, sinar-X, akselerator, bahan bakar nuklir dan lain-lain. Pemakaian radiasi terdiri dari tiga kategori, yaitu untuk keperluan medis, industri atau eksploitasi sumber alam dan untuk keperluan penelitian.

2.4. CACAH LATAR

Apabila spektrometri gamma dibiarkan bekerja tanpa diberikan cuplikan ternyata pada layar MCA tetap akan didapatkan spektrum gamma. Spektrum ini disebut sebagai spektrum latar. Selain itu, didalam setiap pengukuran sumber atau contoh lingkungan, juga selalu ada cacah latar. Pada MCA (*software accuspect*), besar cacah latar ini juga ikut terdeteksi. Sehingga untuk menghitung luasan puncak serapan total atau area bersih (A) dari sumber atau contoh lingkungan dapat langsung dilakukan, yaitu dengan mengurangi cacah total (Gross) dengan cacah latar (B).

Atau :

$$C = G - B \quad (2-16)$$

dimana

C = cacah bersih puncak fotolistrik

G = cacah total (Gross)

B = cacah latar (*Background*)

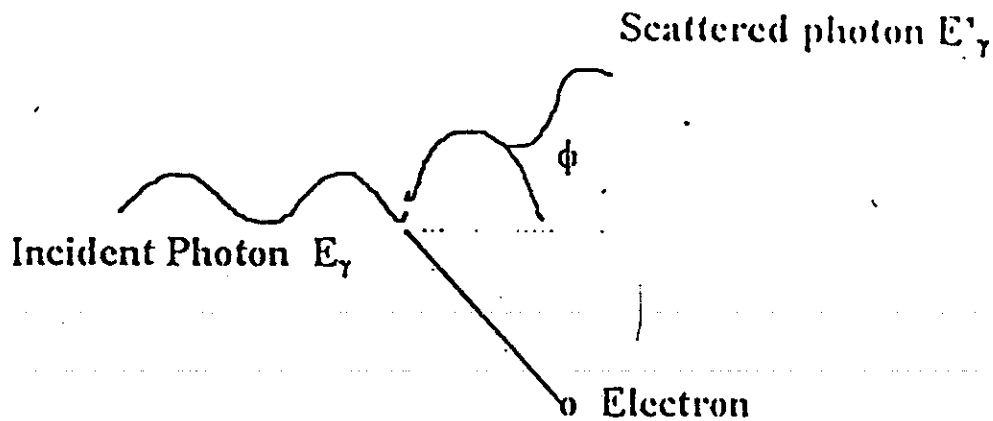
2.5. SISTEM COMPTON SUPRESI

Sistem Compton Supresi (SCS) merupakan suatu sistem spektrometer gamma yang dapat digunakan untuk menyelidiki

kandungan radionuklida dalam suatu cuplikan. Aplikasi sistem tersebut kebanyakan untuk analisa material dengan metoda aktivasi neutron ataupun untuk monitoring suatu cuplikan lingkungan. Seperti telah diketahui bahwa sistem spektrometri gamma yang berdaya pisah tinggi, dipakai HPGe sebagai detektor. Pada sistem Compton Supresi selain digunakan HPGe sebagai detektor utama, diperlukan detektor (*guard ring detektor*) yang berfungsi untuk menangkap gamma terhamburkan dari detektor utama. Dengan memberikan gerbang anti koinidensi pada sinyal dari detektor utama maka Compton kontinyu akan tersupresi.

2.5.1. METODA COMPTON SUPRESI

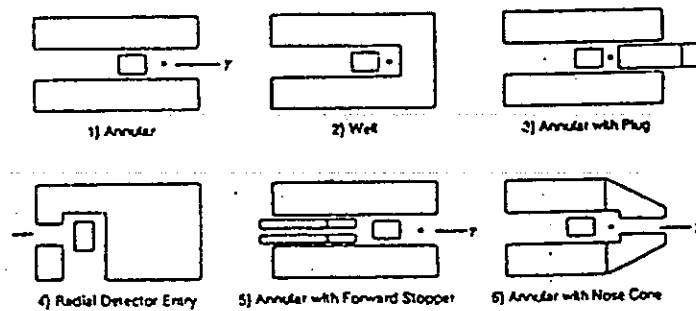
Radiasi gamma berinteraksi dengan materi melalui salah satu dari tiga peristiwa yang dikenal sebagai efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Pada peristiwa efek fotolistrik gamma akan menyerahkan semua energinya kepada elektron dari atom yang ditabraknya, pada hamburan Compton gamma akan menyerahkan sebagian tenaganya, dan masih ada sisa tenaga yang dibawa oleh gamma terhambur, sedang pada produksi pasangan akan terjadi bentukan pasangan positron-elektron; positron tersebut akhirnya akan teranihilasi. Peristiwa produksi pasangan hanya akan terjadi untuk tenaga gamma > 1.022 Mev, proses Compton dominan untuk daerah tenaga 200 Kev sampai beberapa Mev, sedang fotolistrik sangat dominan untuk daerah tenaga rendah. (Sudarti, 1995)



Gambar 2.4. Hamburan Gamma

Detektor yang paling baik dipakai untuk supresi Compton adalah detektor yang dapat mendeteksi gamma yang dihamburkan dengan baik. Bahan maupun bentuk detektor anti Compton tersebut akan sangat mempengaruhi hasil supresi. Bahan detektor merupakan material yang dapat menangkap gamma dengan baik (BGO, Na(Tl) atau plastik) dan dapat dibuat besar, sehingga dapat dibuat bentuk silindris, tipe sumur, atau detektor bentuk L. Bahan yang paling baik yang dapat dipakai untuk tujuan tersebut adalah BGO, karena kerapatannya tinggi sehingga kemampuan menyerap gamma adalah besar, namun harganya adalah paling mahal. Detektor yang biasa dipakai adalah detektor NaI(Tl) dengan kemampuan serapan gamma menengah, sedang jenis plastik jarang sekali dipakai karena diperlukan detektor yang cukup tebal untuk kemampuan yang sama. Berbagai bentuk detektor anti Compton dapat dilihat pada gambar (2.5). Pemilihan bentuk ini tergantung pada aplikasi sistem

tersebut untuk suatu pengukuran. Untuk analisa cuplikan lingkungan diperlukan volume diantara kedua detektor yang cukup besar, sehingga bentuk yang paling cocok adalah bentuk sumur atau bentuk "cincin".



Gambar 2.5. Macam-macam bentuk detektor perisai anti Compton (Sudarti, 1995)

Bergantung pada aplikasi sistem, maka pemakaian perisai pasif sangat mutlak diperlukan untuk monitoring radioaktivitas lingkungan, karena intensitasnya yang sangat rendah dan mendekati radiasi latar itu sendiri. Untuk kebutuhan ini dipilih perisai pasif (yang dipakai untuk mengurangi latar dari sinar kosmis), dengan kadar radioaktivitas alam sangat rendah. Demikian juga untuk bahan-bahan pendukung detektor seperti pembungkus detektor, bahan PMT dipilih bahan yang bebas dari potasium. Sedang untuk tujuan analisa hasil aktivasi neutron, karena cacahnya cukup tinggi, tidak diperlukan material yang "low background" dan tidak diperlukan perisai.

2.5.2. PERANGKAT SCS

Seperti telah diketahui bahwa SCS terdiri dari

beberapa peralatan. Adapun peralatan-peralatan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Detektor utama

Detektor yang sesuai untuk pemantauan radiasi lingkungan adalah detektor semi konduktor germanium murni (HPGe). Detektor ini mempunyai kelebihan dapat disimpan pada suhu kamar jika tidak sedang digunakan. Adapun spesifikasi dari detektor utama yang digunakan dalam sistem Compton suppression ini adalah :

- HPGe (High Pure Germanium) closed-end coaxial, tipe vertikal dip-stick model GC1520
- Diameter 56,6 mm
- Luas daerah permukaan aktif 23,2 cm²
- Kristal dimasukkan ke dalam cryostat tipe vertikal dip-stick dengan panjang aluminium endcap 15 cm
- Jarak kristal HPGe terhadap jendela (tebal 0,5 mm) adalah 5 mm
- Efisiensi relatif adalah 15%
- Resolusi (FWHM) pada tenaga 1332,52 KeV adalah 1,85
- Pada pengoperasiannya harus didinginkan dengan nitrogen cair pada suhu 77 K untuk menghindari arus bocor termal.

2. Perisai Aktif

Perisai aktif merupakan perisai yang bekerja aktif untuk menurunkan adanya cacah latar hingga seminimum mungkin. Perisai ini dibuat dari detektor sintilator

NaI(Tl) yang berbentuk sumur sehingga dapat melindungi secara maksimum terhadap detektor utama. Detektor utama dan detektor pelindung dioperasikan secara anti-koinsidensi yang dimaksudkan agar cacah dari detektor utama saja yang diolah dan dikeluarkan oleh MCA. Sebagai pertimbangan penggunaan perisai aktif dengan detektor sintilator NaI(Tl) antara lain bahwa detektor ini perawatannya mudah, dan NaI(Tl) sebagai perisai aktif hanya diperlukan untuk menimbulkan pulsa untuk memberikan gate pada sistem koinsiden sebelum dioperasikan secara anti-koinsiden.

3. Perisai Pasif

Radioaktivitas yang sangat mempengaruhi pencacahan adalah radiasi sinar kosmis, untuk menguranginya sistem pencacahan harus dilindungi. Pertimbangan untuk pembuatan perisai pasif ini adalah bahannya harus beraktivitas serendah mungkin, cukup efektif untuk memantulkan dan menyerap radiasi dari luar, mempunyai kerapatan tinggi dan tahan terhadap pengaruh luar.

Dengan pertimbangan beberapa hal diatas, yang sering digunakan adalah timbal (Pb) yang cukup efektif untuk melindungi detektor terhadap sinar kosmis dan dilapisi dengan kadmium (Cd) sebagai penyerap neutron thermal dan sinar-x yang dihasilkan akibat interaksi Pb dengan sinar gamma. Ketebalan perisai ini dapat dibuat sedemikian rupa sehingga dengan semakin tebal perisai,

semakin sedikit sinar kosmis yang dapat menerobos.

Kedua detektor ditempatkan di dalam perisai pasif yang terbuat dari timbal dengan ketebalan 4 inchi dan dilapisi dengan kadmium (Cd). Perisai pasif ini berbentuk silinder berongga dengan sebuah pintu untuk menempatkan sampel. Detektor utama berada dibawah menghadap ke atas dengan disangga dengan dewar N_2 cair, sedangkan perisai aktif berbentuk sumur berada diatasnya dengan 5 PMT. Sampel berada diatas HPGe sekaligus disangga olehnya.

4. Dewar Nitrogen Cair

Berfungsi sebagai tempat Nitrogen cair yang digunakan sebagai pendingin detektor HPGe saat dioperasikan sampai suhu 77 K. (Agus. 1995)

5. Penguat Awal

Pulsa keluaran dari detektor sebelum masuk ke penguat didahului oleh penguat awal. Selain melakukan penguatan awal terhadap pulsa keluaran dari detektor, preamplifier ini juga mempunyai fungsi :

- Untuk melakukan penguatan awal terhadap pulsa keluaran detektor.
- Melakukan pembentukan pulsa pengeluaran
- Mencocokkan impedansi keluaran detektor dan kabel signal pulsa masukan ke penguat.
- Mengadakan perubahan muatan menjadi tegangan pada

pulsa keluaran detektor.

- Menurunkan derau

Ada dua jenis penguat awal yaitu penguat awal *peka tegangan* dan penguat awal *peka muatan*. Dalam spektrometri gamma sering digunakan pre amplifier *peka muatan*.

6. Penguat Linier

Penguat linier berfungsi untuk memperkuat pulsa yang datang dari penguat awal dan juga memproses bentuk pulsa, sehingga keluaran dari penguat linier ini berbentuk *semi Gauss*. Pada penguat linier pulsa akan dipertinggi sampai mencapai amplitudo yang dapat dianalisa dengan alat penganalisa tinggi pulsa. Selain itu dalam penguat linier biasanya dilengkapi dengan tombol *shaping time* yang mengatur lebar pulsa.

7. Perangkat Timing

Perangkat *timing* berfungsi memproses keluaran dari kedua detektor baik secara *koinsiden* atau *antikoinsiden*. Proses *koinsiden* adalah proses dimana waktu datang pulsa dari kedua detektor adalah sama atau berada pada jangkauan waktu tertentu. Sedangkan proses *antikoinsiden* adalah kebalikannya yaitu akan menghasilkan pulsa keluaran jika waktu datang pulsa dari kedua detektor adalah berbeda. Fungsi dari perangkat ini adalah untuk memproses waktu datang pulsa dari kedua detektor yang *koinsiden*. Karena

tujuannya adalah untuk pengukuran contoh radioaktivitas lingkungan yang umumnya beraktivitas rendah maka diperlukan sistem yang mampu mereduksi cacah compton dan latar, yaitu dengan cara meng-antikoinnsidenkan antara keluaran *timing* dengan keluaran detektor utama.

8. Multi Channel Analyzer (penganalisa salur ganda)

Penganalisa salur ganda bisa dianggap gabungan dari banyak penganalisa salur tunggal. Jadi berfungsi hampir sama dengan TSCA, tetapi dapat membuat spektrum gamma sekaligus. MCA terdiri dari beberapa bagian, antara lain :

- sebuah unit atau lebih *Analog to Digital Converter* (ADC)
- sebuah unit memori
- sebuah osciloskop
- unit-unit tambahan, seperti unit pengolahan data, amplifier dan lain-lain. (Wisnu, 1984)

9. Delay Amplifier

Delay amplifier berfungsi untuk menunda pulsa keluaran dalam satuan waktu, disamping sebagai penguat pulsa yang datang dari penguat awal.

10. Sumber Tegangan Tinggi

Berfungsi memberikan tegangan tinggi, khususnya pada detektor yang digunakan.

11. Bin Power Modul

Berfungsi untuk memberikan tegangan rendah DC pada seluruh sistem pencacah.

12. Recorder

Berfungsi untuk menggambar spektrum energi dari pencacahan yang didapat dari MCA.

13. Dongkrak

Merupakan peralatan mekanik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan detektor utama pada saat pengoperasian.

2.5. DETEKTOR

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

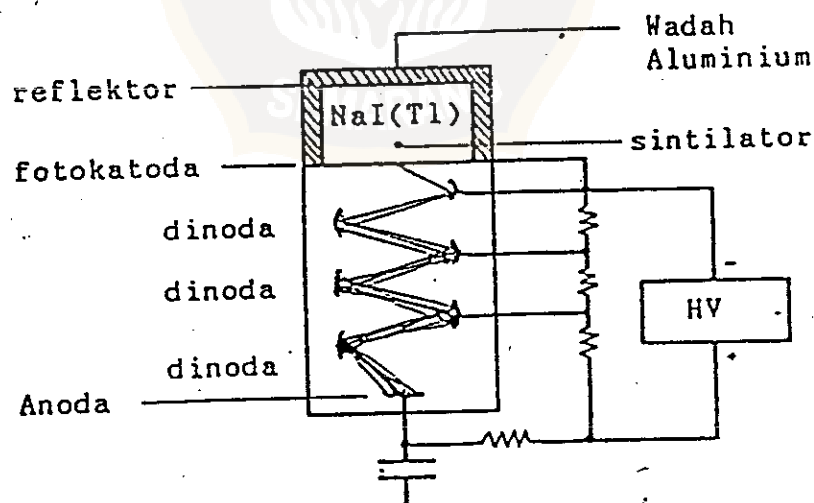
2.5.1. DETEKTOR NaI(Tl)

Detektor NaI(Tl) merupakan 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 berinteraksi dengan atom-atom bahan sintilator menurut efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan. Elektron bebas sebagai hasil interaksi selanjutnya akan menyerahkan tenaganya melalui proses ionisasi dan peneralan (*excitation*) atom-atom sintilator. Tenaga yang diserap sebagian besar berbentuk tenaga panas, yang sebagian dilepaskan dalam bentuk foton cahaya-kelipan.

Bahan sintilator NaI(Tl) dihubungkan dengan tabung pelipatganda foton (*photo multiplier tube*). Pada ujung tabung pelipatganda foton terdapat elektroda peka cahaya yang disebut fotokatoda.



Gambar 2.6. Detektor NaI(Tl)
(Wisnu, 1984)

Fotokatoda ini akan melepaskan elektron apabila permukaannya terkena tumbukan foton kelipan. Makin tinggi tenaga sinar gamma makin tinggi tenaga foton kelipan yang dihasilkan dan makin tinggi pula tenaga gerak elektron yang dilepaskan dari fotokatoda. Hal ini dicerminkan dalam tinggi pulsa yang dihasilkan. Di lain pihak intensitas sinar gamma mempengaruhi cacah elektron yang di bebaskan.

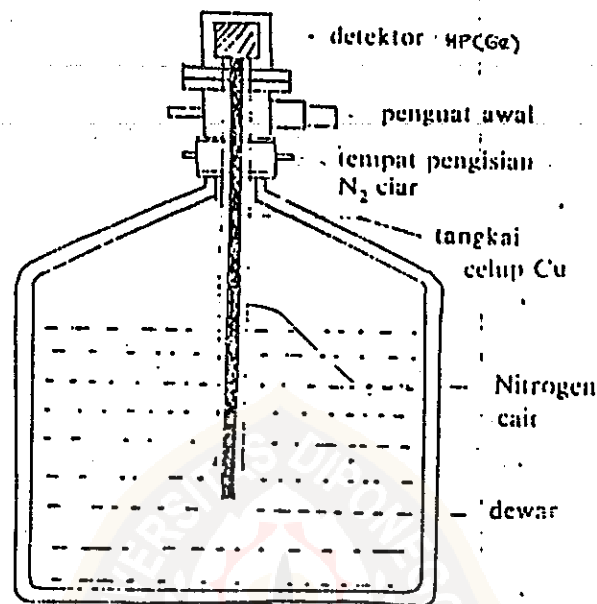
Antara fotokatoda dan anoda terdapat dinoda-dinoda (gambar 2.6) yang mempunyai tegangan tinggi yang diatur sedemikian rupa sehingga elektron yang dilepaskan fotokatoda dipercepat dari dinoda satu ke dinoda lainnya. Dalam proses tumbukan akan dilepaskan elektron-elektron lain yang kemudian dipercepat menuju dianoda berikutnya, demikian seterusnya sampai mencapai anoda. Sebuah tabung pelipat ganda elektron biasanya memiliki faktor penggandaan setara 10^7 - 10^8 kali. (Wisnu, 1984)

2.5.2. DETEKTOR HPGe

Detektor HPGe (detektor Ge kemurnian tinggi) adalah detektor semi konduktor berjenis p-i-n. Detektor ini terbuat dari sambungan p-n yang dibias balik. Terjadinya medan listrik bias-terbalik membentuk daerah sambungan (*depletion region*) 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.

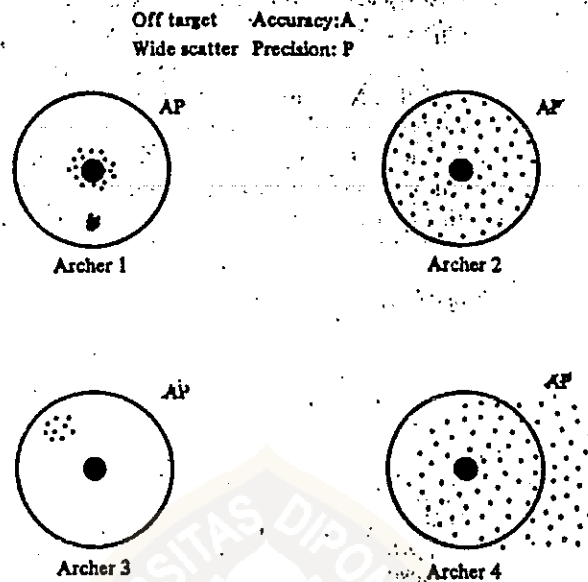


Gambar 2.7. Detektor HPGe

2.6. KETEPATAN DAN KETELITIAN DALAM PROSES PENGUKURAN

Dalam melakukan pengukuran yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, sering kali sulit membedakan hubungan antara ketelitian (*Precision*) dengan ketepatan (*Accuracy*) suatu alat yang digunakan. Demikian pula dalam penelitian kali ini yang menggunakan sistem Compton supresi. Sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dijelaskan pada bab di atas maka dalam penelitian ini juga dibutuhkan akurasi dan presisi alat yang digunakan sehingga hasil yang didapatkan dalam penelitian ini dapat diketahui apakah

sesuai dengan interval, mendekati interval atau menyimpang dari interval yang ditetapkan oleh IAEA.



Gambar 2-8. Tingkat ketelitian dan ketepatan
(J OP Beeck, 1983)

Sebagai contoh (gambar 2-8) dapat dijelaskan sebagai berikut :

Empat panah digunakan untuk menembak (memanah) suatu target atau sasaran yang berbeda. Target didalam percobaan ini identik dengan harga standar yang ditetapkan IAEA, sedangkan hasil tembakan anak panah pada sasaran identik dengan hasil yang diberikan oleh sistem compton supresi atau hasil perhitungan. Dari gambar (2-8) dapat dikatakan, hasil pertama mempunyai akurasi dan presisi. Akurasi karena rata-rata anak panah yang dilepaskan berada pada targetnya, sedangkan dikatakan presisi karena semua anak

panahnya mengumpul (sedikit yang melebar). Hasil kedua dikatakan mempunyai akurasi tetapi tidak presisi. Akurasi karena rata-rata dari anak panahnya ada pada sasaran. Tidak presisi karena anak panahnya lebih banyak yang melebar dari targetnya. Hasil yang ketiga mempunyai presisi tetapi tidak akurasi. Sedangkan hasil keempat tidak presisi dan tidak akurasi.

Dengan gambaran diatas maka hasil yang didapatkan dari sistem compton supresi ini dapat digunakan untuk menentukan kualitas dari sistem, yaitu dengan melihat tingkat akurasi dan presisinya. (J O P Beeck, 1983)

