

BAB II DASAR TEORI

2.1. Interaksi Sinar γ dengan Materi

Foton γ berinteraksi dengan detektor melalui tiga peristiwa utama yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Efek fotolistrik dominan terjadi pada energi < 1 MeV, hamburan Compton dominan terjadi pada energi 500 keV sampai 5 MeV dan produksi pasangan dominan terjadi pada energi di atas 5 MeV.

2.1.1. Efek fotolistrik

Fotolistrik terjadi bila foton mengenai elektron dalam suatu orbit atom. Sebagian energi foton digunakan untuk mengeluarkan elektron dari atom dan sisanya dibawa oleh elektron sebagai energi kinetiknya. Seluruh energi foton (E) dipakai dalam proses tersebut (gambar 2.1).

$$E = h\nu = \phi + T \quad (2.1)$$

ϕ adalah energi ikatan elektron pada atom (*Work function*) dan ν adalah frekuensi gelombang, T adalah energi kinetik elektron dan h adalah tetapan Planck.

Efek fotolistrik terjadi pada energi radiasi rendah, sehingga pada energi ini foton berinteraksi dengan elektron orbit luar dan bila energi radiasi besar, elektron-elektron dari orbit yang lebih dalam akan dikeluarkan.

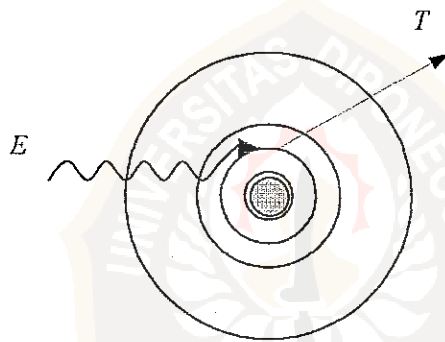
Bila elektron dikeluarkan dari orbit yang lebih dalam, kekosongan yang terjadi akan diisi oleh salah satu elektron dari orbit luar dan terjadilah pemancaran sinar-X. Sinar-X ini akan mengenai dan mengeluarkan elektron dari orbit luar

dengan energi yang sama dengan sinar-X dikurangi dengan energi ikatan elektron. Elektron semacam ini disebut elektron *Auger*. Proses ini terjadi pada materi dengan nomor atom berat (Ridwan dkk, 1995).

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

$$\tau = k \frac{z^5}{E_\gamma^{7/2}} \quad 2.2$$

dengan k adalah konstanta dan z adalah nomor atom inti.

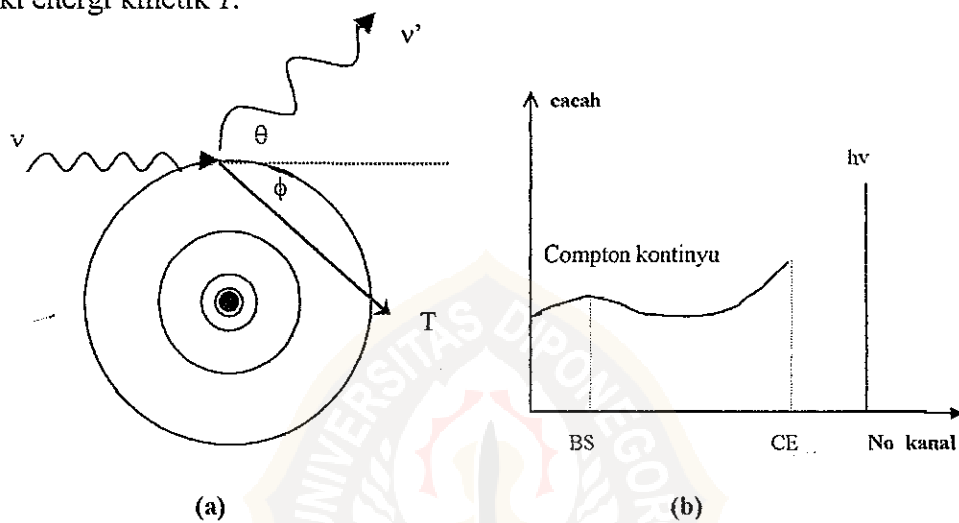


Gambar 2.1. Efek fotolistrik (Susetyo, 1988)

Dalam unsur radioaktif yang memancarkan sinar γ akan terjadi fotolistrik di dalam yang disebut *internal conversion*, dimana γ yang keluar akan membebaskan elektron dari orbit yang lebih dalam.

2.1.2. Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi pada unsur ringan dan sedang. Peristiwa ini (gambar 2.2(a)) terjadi bila foton γ dengan energi $E_\gamma = h\nu$ menumbuk elektron yang bermassa m_0 , sehingga foton akan terhambur dengan energi $E'_\gamma = h\nu'$ dengan sudut hamburan θ . Elektron juga akan terhambur dengan sudut hamburan ϕ dan memiliki energi kinetik T .



Gambar 2.2 Peristiwa hamburan Compton

(a) hamburan Compton

(b) pulsa yang dihasilkan (Susetyo, 1988)

Hukum kekekalan energi berlaku sehingga memenuhi persamaan (2.3).

$$h\nu = h\nu' + T \quad (2.3)$$

Energi foton yang dihambur ($h\nu'$) sebesar

$$h\nu' = \frac{m_0c^2}{\frac{m_0c^2}{h\nu} + 1 - \cos\theta} \quad (2.4)$$

m_0c^2 adalah energi diam elektron dan c adalah kecepatan cahaya.

Dalam daerah energi tinggi, energi foton yang dihambur adalah:

$$h\nu' = \frac{m_0 c^2}{1 - \cos \theta} \quad (2.5)$$

sedang energi kinetik elektron yang dikeluarkan adalah:

$$T = \frac{(h\nu)^2 (1 - \cos \theta)}{m_0 c^2 + h\nu (1 - \cos \theta)} \quad (2.6)$$

Energi elektron inilah yang akan membentuk puncak pada spektrum tenaga.

Tenaga elektron tersebut tergantung dari besar sudut hamburannya sehingga spektrum energi γ (gambar 2.2 (b)) akan terdistribusi secara kontinyu dari energi rendah sampai energi maksimum dan disebut daerah Compton kontinyu. Bila sudut $\theta = \pi$ maka energi elektron akan mencapai maksimum yang memenuhi persamaan :

$$T_{\max} = E_\gamma - \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_0 c^2}} \quad (2.7)$$

Energi elektron maksimum ini ditunjukkan pada puncak *Compton edge* (CE) atau tepi Compton. Ada kalanya interaksi γ akan terjadi pada permukaan detektor sehingga kemungkinan besar elektron tersebut tidak akan tercacah dan hanya γ terhambur yang menyumbang tenaga. Energi minimum foton tersebut adalah:

$$E'_{\gamma \min} = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{2E_\gamma}{m_0 c^2}} \quad (2.8)$$

Tenaga γ tersebut tampak pada puncak hambur balik atau *backscatter peak* (BS).

2.1.3. Produksi pasangan

Foton yang berinteraksi dengan medan listrik sekeliling partikel bermuatan, dapat hilang dan diganti dengan pembentukan pasangan elektron–positron. Peristiwa ini banyak terjadi di daerah dekat inti atom. Energi terkecil agar terjadi peristiwa produksi pasangan sama dengan $2m_0c^2=1,02$ MeV. Bila energi kinetik elektron dan positron masing-masing T_- dan T_+ maka

$$h\nu = T_+ + T_- + 2m_0c^2 \quad (2.9)$$

Produksi pasangan banyak terjadi pada foton energi tinggi dan dalam materi dengan nomor atom tinggi. Bila positron yang terjadi bertemu dengan elektron maka akan segera menjadi dua foton γ . Peristiwa ini disebut dengan *annihilasi* dan peristiwa ini selalu mengikuti terjadinya efek produksi pasangan.

2.2. Detektor

Detektor merupakan peralatan utama yang dipergunakan sebagai sensor dalam deteksi nuklir karena peralatan inilah yang pertama kali menerima radiasi nuklir. Detektor yang dipergunakan dalam spektroskopi γ dengan metode **Anti Compton** ini adalah detektor HpGe dan detektor NaI(Tl).

2.2.1. Detektor semikonduktor

Detektor semikonduktor biasanya terbuat dari bahan yang tersusun oleh atom-atom bervalensi empat (tetravalen) yaitu Si dan Ge. Di alam bahan ini selalu

tercemar oleh atom-atom lain yang disebut bahan ekstrinsik. Sedang bahan yang tidak tercemar atau bahan murni disebut bahan intrinsik.

Dalam pembuatan bahan semikonduktor dikenal istilah *dopping* yaitu penambahan bahan-bahan yang bukan dari atom bervalensi empat. Semikonduktor yang didopping dengan atom bervalensi tiga (trivalen) akan mempunyai banyak *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas, disebut semikonduktor tipe P dan yang didopping dengan atom bervalensi lima (pentavalen) akan mempunyai banyak elektron yang merupakan pembawa muatan mayoritas disebut semikonduktor tipe-N.

Detektor Germanium (Ge) adalah dioda semikonduktor dari Germanium yang mempunyai struktur P-I-N yang mana daerah intrinsik (I) adalah daerah yang peka terhadap radiasi pengion. Bila dalam keadaan *reverse bias*, sinar γ berinteraksi di dalam daerah intrinsik atau daerah depleksi (*depletion layer*) yang kemudian akan dihasilkan pembawa muatan. Oleh medan listrik pembawa muatan akan digiring ke masing-masing elektroda. Besarnya muatan yang terjadi sebanding dengan energi yang masuk dalam detektor. Untuk kristal Germanium setiap pasangan elektron-hole yang dihasilkan kira-kira hanya memerlukan energi sebesar 3 eV.

Karena Germanium mempunyai energi gap yang relatif rendah maka detektor ini harus didinginkan untuk mencegah arus bocor termal yang dapat menimbulkan derau. Untuk itulah detektor ini harus didinginkan sampai suhu 77°K dengan nitrogen cair yang tersimpan dalam suatu kriostat atau dewar.

Detektor ini umumnya memiliki tiga bentuk geometri dasar yaitu koaksial, planar dan bentuk sumur. Untuk bentuk planar terbuat dari bahan Ge murni, untuk koaksial biasanya terbuat dari Germanium Drifted (Ge(Li)) atau High pure Germanium (HpGe), sedang bentuk sumur juga dari Germanium murni.

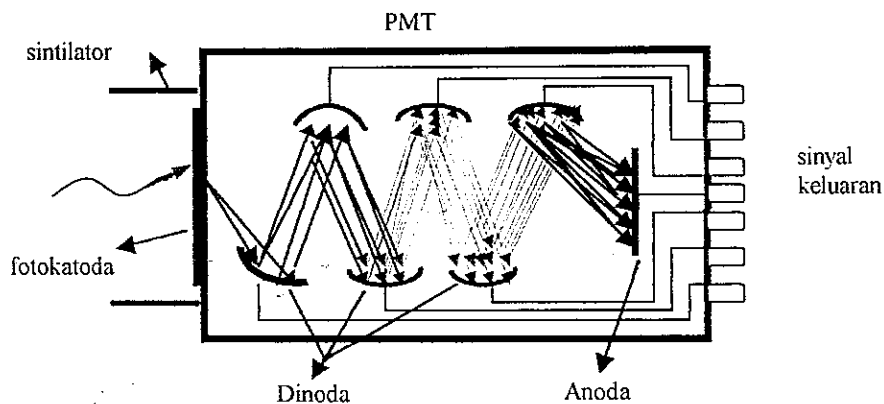
Detektor HpGe adalah detektor yang sekarang banyak digunakan dalam pencacahan dan juga dalam spektroskopi γ , hal ini karena daerah intrinsik dapat dibuat lebih lebar yaitu dengan menurunkan tingkat pengotor (*impuritas*) hingga mencapai 10^{10} atom/cm³ (10^{-6} ppm). Dengan tegangan balik kurang dari 1000 V akan dapat dicapai kedalaman depleksi 10 mm (Knoll, 1979).

2.2.2. Detektor Sintilator

Detektor sintilator adalah salah satu detektor radiasi nuklir yang banyak digunakan dalam pencacahan maupun dalam spektroskopi energi sinar γ , karena detektor ini memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan detektor isian gas maupun detektor semikonduktor. Adapun kelebihan dari detektor ini adalah terletak pada efisiensinya yang cukup besar serta pulsa keluarannya sebanding dengan energi radiasi yang dicacah.

Detektor sintilasi terdiri dari 3 bagian utama yaitu sintilator, fotokatoda dan *Photo Multiplier Tube (PMT)* atau tabung pengganda elektron. Sintilator berfungsi untuk mengubah radiasi menjadi foton cahaya. Foton cahaya akan menumbuk fotokatoda dan dari fotokatoda proses akan dilanjutkan ke PMT. Dalam PMT terdapat dinoda-dinoda yang akan dilewati oleh elektron-elektron yang berasal dari fotokatoda.

Berikut ini adalah skema dari pengoperasian PMT:



Gambar 2.3. Skema pengoperasian PMT (modifikasi dari Krane, 1988)

Pada detektor sintilator proses terjadinya interaksi radiasi dengan detektor sampai terjadinya pulsa dapat dijelaskan sebagai berikut:

Sinar γ yang masuk detektor sintilator akan berinteraksi dengan atom-atom didalamnya menurut proses fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan. Sebagai akibatnya akan timbul elektron bebas yang mempunyai tenaga gerak yang selanjutnya akan diserahkan melalui proses ionisasi dan eksitasi atom-atom sintilator. Sebagian besar tenaga yang diserap ini akan dilepas dalam bentuk foton cahaya. Foton cahaya akan menumbuk fotokatoda dan menghasilkan elektron-elektron. Selanjutnya elektron-elektron tersebut dilewatkan pada dinoda-dinoda. Antara dinoda satu dengan dinoda lain diberi beda tegangan antara 100-150 V, akibatnya elektron yang berasal dari fotokatoda akan berlipat ganda dan akhirnya setelah sampai pada anoda elektron-elektron itu telah dapat diproses menjadi arus yang terukur.

Besarnya pelipatan elektron yang dihasilkan mulai dari dinoda pertama sampai pada kolektor anoda sering disebut dengan *faktor pelipatan* (M). Jika ada n buah dinoda dengan besarnya pelipatan elektron untuk masing-masing dinoda adalah P , maka hasil pelipatan elektron seluruhnya adalah (Knoll, 1979)

$$M = P^n \quad (2.10)$$

Dalam spektrometri γ detektor yang paling sering digunakan adalah yang terbuat dari kristal tunggal Natrium Iodida yang dikotori dengan sedikit Talium. Detektor jenis ini dikenal dengan detektor NaI(Tl).

Karena kristal NaI bersifat higroskopis (mudah menyerap air) maka kristal tersebut ditutup rapat-rapat dengan wadah aluminium yang biasanya ditutup kromium. Dalam wadah aluminium tersebut kristal NaI(Tl) dibungkus dengan reflektor yang biasanya adalah serbuk Mangan Oksida (MgO) atau aluminium Trioksida (Al_2O_3) dan kemudian direkatkan pada sebuah tabung pelipat ganda foton menggunakan perekat bening yang terbuat dari Silikon. Hal ini dimaksudkan agar cahaya yang dihasilkan sintilator dapat masuk secara efektif ke dalam tabung pelipat ganda foton. Biasanya kristal NaI(Tl) dibuat dalam bentuk silinder dan ukurannya bermacam-macam tergantung keperluan (Knoll, 1979).

2.3. Pengukuran Koinsiden-Antikoinsiden

Dalam peristiwa tertentu diperlukan pembuangan terhadap pulsa-pulsa yang tidak berguna. Pembuangan pulsa yang tidak diperlukan tersebut dapat dilakukan dengan metode koinsiden dan juga metode anti koinsiden. Unit koinsiden akan mengeluarkan pulsa keluaran bila dua buah pulsa masukan dari

dua detektor, tiba dalam waktu yang bersamaan. Sedangkan unit anti koinsiden memiliki prinsip kerja yang berlawanan dengan unit koinsiden. Unit anti koinsiden akan mengeluarkan pulsa keluaran jika dua buah pulsa masukan tidak tiba pada waktu yang bersamaan. Pengukuran dengan menggunakan metode koinsiden maupun anti koinsiden antara lain terjadi pada:

1. Deteksi produksi pasangan.

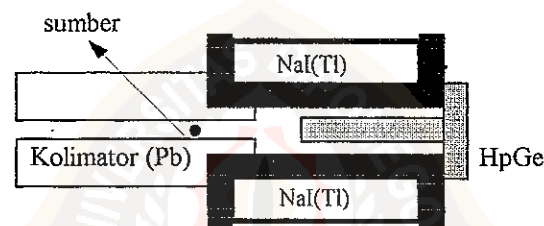
Ketika produksi pasangan terjadi, dua γ berenergi 0,511 MeV terjadi bersamaan dalam arah berlawanan satu sama lain. Untuk memastikan bahwa hanya foton *annihilasi* yang dicacah, dua detektor ditempatkan berhadapan dengan sudut 180° satu sama lain, dan sistem tersebut hanya akan mencacah peristiwa yang terjadi bersamaan.

2. Deteksi *Internal Conversion electrons*.

Radioisotops mengeluarkan *Internal Conversion (IC) electrons* dan juga mengeluarkan γ dan sinar-X. Dengan menggunakan detektor tunggal untuk mencacah elektron-elektron maka yang akan tercacah bukan hanya IC electron tetapi juga elektron-elektron Compton yang dihasilkan detektor oleh radiasi γ . Agar elektron Compton tidak tampak dalam pencacahan maka memanfaatkan sinar-X yang dikeluarkan bersama-sama dengan dengan *IC electrons* kemudian ditempatkan detektor kedua ditambahkan untuk mencacah sinar-X dan sistem pencacahan hanya akan mencatat kejadian-kejadian yang koinsiden dari kedua detektor. Teknik ini akan melarang masuknya elektron-elektron Compton dalam pencacahan.

3. Penekanan dataran Compton.

Compton Kontinyu dihasilkan dalam spektrometer γ oleh NaI(Tl) atau oleh detektor semikonduktor seperti HpGe dan Ge(Li). Bila analisa dilakukan pada spektrum kompleks maka akan menemui kesulitan karena dataran Compton dapat menutup puncak-puncak tenaga radiasi partikel yang memiliki aktivitas rendah. Oleh karena itu dataran Compton harus dihilangkan atau dikurangi semaksimal mungkin. Satu cara yang dilakukan untuk mencapai hal ini adalah dengan menggunakan dua detektor yang dioperasikan secara anti koinsiden seperti dalam gambar 2.4.

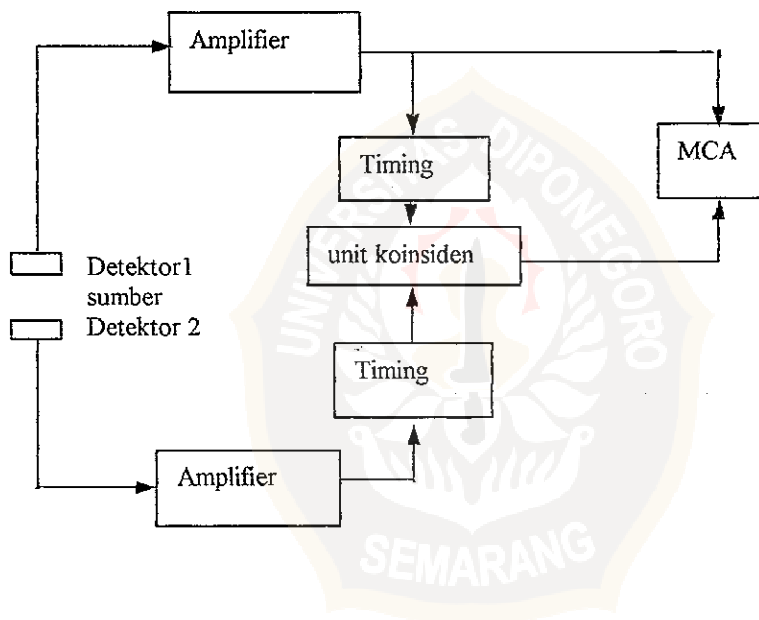


Gambar 2.4. Diagram sistem Anti Compton (modifikasi Tsoufanidis, 1983)

Sistem tersebut disebut dengan Spektrometer Supresi Compton, yang terdiri atas sebuah detektor NaI(Tl) berukuran besar yang mengelilingi sebuah detektor HpGe sebagai detektor utama.

Dalam menggunakan metode koinsiden sumber akan mengeluarkan radiasi yang akan mengenai kedua detektor. Setelah mengalami penguatan sinyal detektor akan masuk ke rangkaian pewaktu (*timing*), dari unit *timing* maka sinyal akan masuk ke unit koinsiden. Sistem tersebut akan mengeluarkan sinyal keluaran bila ada pulsa yang datang secara bersamaan pada kedua detektor tersebut

(gambar 2.5). Jika yang diperlukan dalam pengukuran hanya jumlah kejadian-kejadian yang koinsiden maka sinyal keluaran dari unit koinsiden akan langsung masuk ke dalam *scaler* atau pencacah tetapi bila yang diperlukan dalam pengukuran adalah spektrum energi maka sinyal keluaran dari unit koinsiden akan masuk ke dalam *gate* sebuah MCA yang menerima pulsa-pulsa energi dari detektor satu. MCA akan menyimpan kejadian-kejadian yang terjadi bersamaan bila unit yang dipakai unit koinsiden tetapi akan menolak bila unit yang digunakan unit anti koinsiden.



Gambar 2.5. Blok diagram sistem koinsiden (Tsolufanidis, 1983)

Dalam praktik, kejadian-kejadian yang benar-benar koinsiden jarang ditemui, oleh karena itu sebuah unit koinsiden dibuat untuk menunjukkan kejadian-kejadian yang terjadi pada interval waktu yang pendek (τ). Interval waktu τ , disebut *resolving time* atau *width*. Bila nilai τ , 1-5 μs disebut *Slow* koinsiden dan bila nilai τ , 1-10 ns maka disebut *fast* koinsiden.

Sebuah unit anti koinciden adalah unit yang cara kerjanya berlawanan dengan unit koinciden yaitu bila unit tersebut menerima pulsa dari kedua detektor maka akan mengeluarkan keluaran bila pulsa-pulsa tersebut tidak datang pada periode waktu τ (Tsoulfanidis, 1983).

2.4. Metode Anti Compton

Supresi terhadap dataran Compton menyebabkan timbulnya puncak-puncak fotolistrik. Apabila tanpa supresi Compton dimungkinkan puncak-puncak yang kecil akan tertutup oleh dataran Compton, sehingga tidak bisa mengidentifikasi terhadap puncak-puncak tersebut.

Secara fisis apabila cuplikan ditempatkan pada sistem maka cuplikan tersebut akan memancarkan radiasi ke segala arah berinteraksi dengan detektor HpGe dan detektor NaI(Tl). Jika pada detektor HpGe terjadi efek fotolistrik sebagai akibat interaksi sinar γ dengan detektor maka akan menghasilkan keluaran yang berupa pulsa yang tercatat langsung di MCA. Perlu diketahui bahwa efek fotolistrik menyebabkan energi sinar γ akan diserap semuanya oleh materi yang dalam hal ini adalah detektor HpGe. Pulsa pada peristiwa inilah yang akan menyumbang puncak pada spektrum yang diamati. Sebaliknya karena detektor NaI(Tl) juga terkena radiasi sinar γ maka bila terjadi peristiwa fotolistrik keluaran berupa pulsa pada detektor tersebut tidak akan tercatat oleh MCA. Hal ini terjadi karena setelah pulsa keluaran dari kedua detektor dikoincidenkan maka hasilnya akan mengalami proses anti koinciden dengan pulsa keluaran dari detektor HpGe sehingga hanya pulsa-pulsa yang berasal dari HpGe yang tercatat pada MCA.

Ada beberapa kebolehjadian terjadinya efek Compton, kemungkinan pertama, jika peristiwa hamburan Compton terjadi pada detektor HpGe maka elektron Compton akan menghasilkan sinyal pada detektor HpGe. Sedangkan foton terhambur keluar mengenai detektor NaI(Tl). Berarti sinyal dari HpGe datang lebih dahulu kemudian setelah selang waktu tertentu datang sinyal dari NaI(Tl). Sinyal dari HpGe ini harus ditolak dengan cara yang sama ketika menolak peristiwa fotolistrik pada NaI(Tl).

Kemungkinan kedua adalah terjadinya peristiwa Compton pada detektor NaI(Tl). Elektron Compton dihasilkan NaI(Tl) sedangkan foton terhambur akan tertangkap oleh HpGe. Sinyal dari NaI(Tl) datang lebih dahulu dan setelah selang waktu tertentu datang sinyal dari HpGe. Sinyal dari HpGe ini juga harus ditolak dengan cara yang sama ketika menolak peristiwa fotolistrik pada NaI(Tl).

2.5. Pengaturan Waktu

Pengaturan waktu adalah penentuan datangnya pulsa dari dua kejadian yang saling berhubungan. Permasalahan utama yang timbul dalam hal ini adalah untuk memperoleh sinyal yang benar-benar tepat menunjukkan waktu datangnya pulsa (AN-41 ORTEC, 1982 dan Tsoulfanidis, 1983).

Sistem **Anti Compton** menggunakan prinsip koinsiden maupun antikoinsiden sehingga informasi waktu datangnya pulsa masukan dari detektor menjadi sangat penting artinya. Untuk memperoleh informasi yang tepat maka dipergunakan metode *time pick off* untuk membangkitkan pulsa *logic* yang seharusnya tepat menunjukkan waktu datangnya pulsa.

Kesulitan timbul karena adanya gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem ini seperti adanya derau (*noise*) dalam rangkaian elektronik. Sebagai akibat dari gangguan ini maka dikenal adanya sumber-sumber kesalahan dalam penentuan waktu datangnya pulsa yaitu:

1. *Walk (time slewing)*, adalah pergerakan pulsa keluaran karena variasi *rise time* dan amplitudo pulsa masukan.
2. *Jitter*, adalah ketidaktentuan dari sinyal yang disebabkan oleh adanya derau (*noise*) dalam sistem serta pengaruh sinyal datang yang acak (*random*) pada detektor.
3. *Drift*, adalah kesalahan yang disebabkan oleh usia komponen / alat serta adanya variasi suhu dalam rangkaian penganalisis waktu (AN- 41 ORTEC, 1982).

Beberapa metode dikembangkan untuk menghasilkan sebuah pulsa keluaran yang tepat menunjukkan waktu pulsa memotong diskriminator. Metode *time pick off* yang dikembangkan antara lain :

1. *Leading Edge Discriminator*

Leading Edge Discriminator adalah penentuan datangnya pulsa dengan diskriminator. Metode ini dilakukan dengan mengatur ambang picu (*threshold*). Waktu datangnya pulsa ditentukan saat pulsa memotong *threshold*. Metode ini mudah dilakukan tetapi pada pelaksanaannya timbul kesulitan baru dalam pengaturan *jitter* dan *walk*. Dengan metode ini *walk* hanya dapat dikurangi dengan mengatur diskriminator pada posisi serendah mungkin untuk membatasi

amplitudo pulsa masukan. Jadi kerugian metode ini adalah waktu datangnya pulsa merupakan fungsi amplitudo dan waktu bangkit (*rise time*) pulsa masukan.

2. *Zero Crossing Timing*

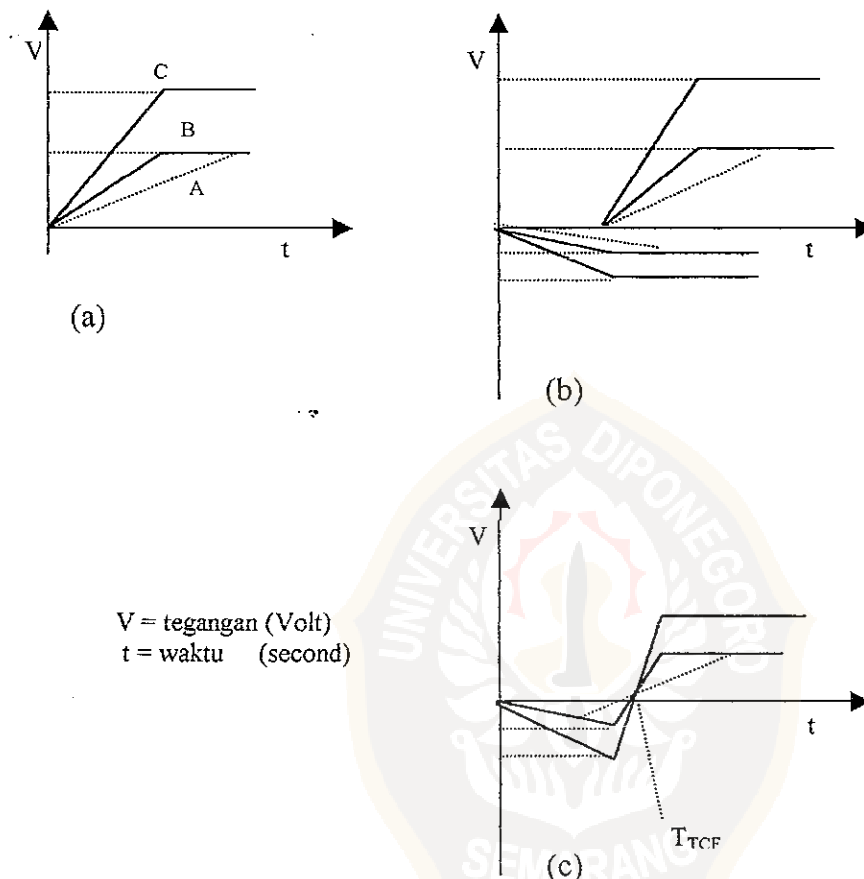
Zero Crossing timing mengurangi gangguan akibat adanya *jitter* dan *walk* dengan membuat sinyal masukan menjadi pulsa bipolar, diharapkan pulsa-pulsa bipolar akan memotong *threshold* pada satu titik sehingga dengan cara itu akan memperoleh hasil yang lebih baik.

Dalam praktiknya *walk* mempengaruhi hasil karena posisi titik potong *threshold* dipengaruhi oleh waktu bangkit. Pengaruh waktu bangkit ini akan tampak pada detektor semikonduktor. Oleh karena itu untuk meminimalkan pengaruh buruk ini digunakan metode yang lain yaitu metode *Constant Fraction* atau dengan metode *Amplitude and Rise Time Compensated* (Tsoulfanidis, 1983).

3. *Constant Fraction Timing*

Metode *Constant Fraction* dilakukan dengan membagi pulsa datang dengan faktor pembagi f . Pulsa yang mengalami penundaan waktu kemudian dikurangi dengan pulsa yang telah diperlemah yang tidak mengalami penundaan, sehingga dihasilkan sebuah pulsa bipolar. Saat pulsa bipolar tersebut memotong *threshold* akan menghasilkan pulsa *logic* yang menunjukkan waktu datangnya pulsa dan selanjutnya akan menjadi informasi bagi TAC (*time to amplitude converter*) (Tsoulfanidis, 1983).

Dengan *Constant Fraction* ini *walk* yang nampak akibat variasi waktu bangkit dan variasi amplitudo pulsa akan dikurangi dengan cara memilih *shaping time delay* yang tepat. *Jitter* juga akan diminimalkan dengan memilih faktor pelemahan (f) dengan tepat (AN-41 ORTEC, 1982).



Gambar 2.6. Metode Constant Fraction

(a) pulsa masukan

(b) pulsa di delay, pulsa yang lain diperlemah dan di balik

(c) pulsa hasil dari Constant Fraction

(AN-41 ORTEC)

Gambar 2.6. menunjukkan pulsa yang dihasilkan pada metode *Constant Fraction*. Hasil yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh amplitudo dari pulsa masukan. Ada 3 pulsa masukan yaitu pulsa (A dan B) yang memiliki amplitudo

sama tetapi dengan *rise time* yang berbeda dan pulsa (B dan C) dengan *rise time* sama tetapi amplitudo pulsa berbeda. Waktu pulsa memotong *threshold* dipengaruhi oleh *rise time* sinyal masukan.

$$T_{TCF} = t_d + ft_r \quad (2.11)$$

T_{TCF} : waktu potong pulsa pada *threshold*

t_d : waktu tunda / *delay*

t_r : waktu bangkit (*rise time*)

t_d dipilih dengan ketentuan yang ditetapkan secara empiris

$$t_d > t_r (1-f) \quad (2.12)$$

Batasan ini untuk memastikan bahwa waktu pulsa memotong *threshold* terjadi setelah pelemahan sinyal terjadi.

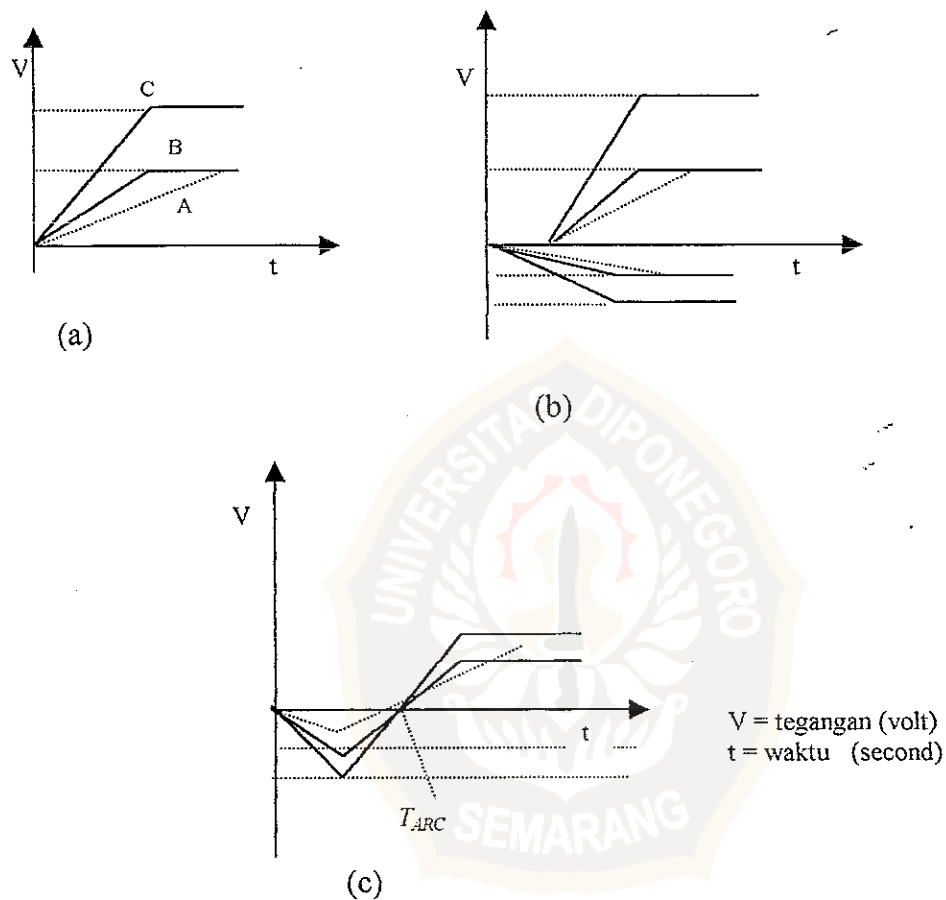
Ada dua macam penentuan waktu pemotongan pulsa yang terjadi pada metode *Constant Fraction* ini yaitu metode yang terdapat seperti di atas disebut metode *True Constant Fraction (TCF)* dan metode yang kedua adalah *Amplitude and Rise Time Compensated (ARC)*. *True Constant Fraction timing* efektif digunakan ketika sinyal masukan memiliki variasi amplitudo yang besar tetapi variasi *rise time* kecil dan untuk metode *ARC* efektif digunakan pada sinyal dengan variasi amplitudo dan *rise time* yang besar.

Perbedaan *ARC* dengan *TCF* terletak pada pemilihan waktu tunda pulsa yang secara lengkap persamaan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$T_{ARC} = \frac{t_d}{1-f} \quad (2.13)$$

$$t_d < t_{r(\min)} (1 - f) \quad (2.14)$$

dengan $t_{r(\min)}$ adalah *rise time* terkecil yang dihasilkan oleh detektor (AN-41 ORTEC, 1982 dan Harshaw Chemie, 1995). Pembentukan sinyal dengan metode *ARC timing* ini ditunjukkan pada gambar berikut:



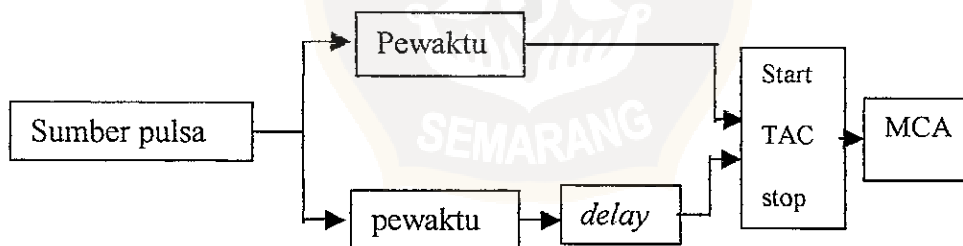
Gambar 2.7. Metode Amplitude and Rise Time Compensated
(a) pulsa masukam
(b) pulsa di delay dan di balik
(c) pulsa hasil dari metode ARC
(AN-41 ORTEC, 1982)

Modul ORTEC menggunakan metode *True Constant Fraction* maupun metode *Amplitude and Rise time Compensated* sedangkan modul NC-26R menggunakan metode *Amplitude and Rise time Compensated* untuk mengolah pulsa keluaran dari kedua detektor.

2.6. Time to Amplitude Converter

Salah satu peralatan yang dipakai dalam pengukuran koinsiden adalah TAC. TAC adalah peralatan elektronik yang dipergunakan untuk mengubah perbedaan waktu datangnya dua sinyal masukan dari dua buah detektor ke dalam pulsa tegangan. Tinggi pulsa tegangan yang dihasilkan sebanding dengan selisih waktu datangnya kedua pulsa tersebut. Spektrum waktu yang dihasilkan disimpan dalam SCA. Pulsa tegangan standard yang dihasilkan oleh SCA menyatakan bahwa kedua pulsa koinsiden dalam selang waktu tertentu dan pulsa ini biasanya dipakai sebagai gerbang. Bila diinginkan pulsa dengan rentang waktu tertentu saja yang digunakan sebagai gerbang, maka dipilih posisi *window* yang diinginkan.

Dalam TAC ini satu pulsa masukan dari detektor pertama berfungsi sebagai pulsa *start* dan pulsa dari detektor kedua berfungsi sebagai pulsa *stop*. Selang waktu antara *start* dan *stop* inilah yang dikonversi ke dalam tegangan.



Gambar 2.8. Pengukuran dengan TAC (Knoll, 1979)

Setiap cabang dari gambar 2.8. di atas memiliki unit pewaktu yang menyediakan keluaran *logic*. *Delay* dipasang pada salah satu pulsa karena bila kedua pulsa datang hampir bersamaan maka hampir tidak ada keluaran TAC karena tegangan yang dihasilkan kecil sekali. Pemasangan *delay* akan

mula (*preamplifier*), penguat utama (*main amplifier*), dan penguat khusus (*special purpose amplifier*). Penguat mula adalah penguat yang langsung dihubungkan ke detektor sedangkan penguat utama memperbesar penguatan yang dihasilkan oleh penguat mula. Penguat utama biasanya dilengkapi dengan pengatur penguatan dan pemilih polaritas sinyal. Untuk selanjutnya sinyal dari amplifier akan diolah dengan unit yang lain seperti telah dibahas di atas.

2.8. Peak to Compton Ratio

Peak to Compton Ratio merupakan besaran yang penting dalam spektrometer supresi Compton yang menyangkut kepekaan detektor dalam spektrometer energi. Besaran tersebut untuk sumber Cs^{137} dirumuskan :

$$P/C = \frac{\text{jumlah cacah pada puncak } 662 \text{ keV}}{\text{cacah rata - rata pada energi } 370 - 425 \text{ keV}} \quad (2.15)$$

Dataran Compton rata-rata untuk Co^{60} diambil antara 1060 keV sampai 1090 keV (Job De Beck, 1983).