BAB III

SPEKTROMETER SUPRESSI COMPTON

Spektrometer Supresi Compton merupakan suatu peralatan yang dapat menekan adanya hamburan Compton dalam detektor, sehingga kemampuan untuk mengukur puncak-puncak fotolistrik akan bertambah. Alat ini dioperasikan dengan sistem anti-koinsidensi yang menggunakan dua detektor yaitu detektor HPGe sebagai detektor utama dan detektor NaI(Tl) sebagai detektor pelindung (perisai aktif). Disamping itu masih dipergunakan Pb yang dilapisi dengan Cu dan Cd untuk perisai pasif, sehingga diharapkan dapat dipakai untuk pengukuran sampel aktivitas rendah dengan menekan hamburan Compton dan pangaruh radiasi latar.

1. DETEKTOR

Detektor adalah suatu peralatan utama yang diperlukan dalam bidang spektroskopi nuklir sebab detektor adalah alat yang pertama dikenai radiasi sehingga dari detektor ini akan menghasilkan suatu pulsa yang akan diolah oleh alat elektronik lainnya. Selanjutnya distribusi tinggi pulsa yang dihasilkan oleh detektor ini merupakan kunci untuk hasil yang memuaskan. Untuk itu perlu dibahas beberapa hal mengenai detektor.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

1.1. Detektor Yang Dipakai

Prinsip kerja dari detektor bermacam-macam yang secara umum dapat dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu: detektor isian gas, detektor sintilator dan detektor semikonduktor. Karena detektor isian gas keluaran pada energi tinggi tidak proporsional dengan energi gamma yang masuk maka detektor ini tidak dipakai dalam spektrometri gamma. Oleh karena itu yang akan dibahas hanya detektor sintilator dan detektor semikonduktor.

1.1.1. *Detektor Sintilator*

Detektor sintilator adalah salah satu jenis detektor radiasi nuklir yang banyak digunakan dalam pencacahan dan juga dalam spektrometri energi sinar gamma, karena detektor ini memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan detektor jenis lain, misalnya detektor isian gas atau detektor semikonduktor. Adapun kelebihan detektor sintilasi ini terletak dalam efisiensinya cukup besar dan pulsa keluarannya yang sebanding dengan energi radiasi yang dicacah.[6,18]

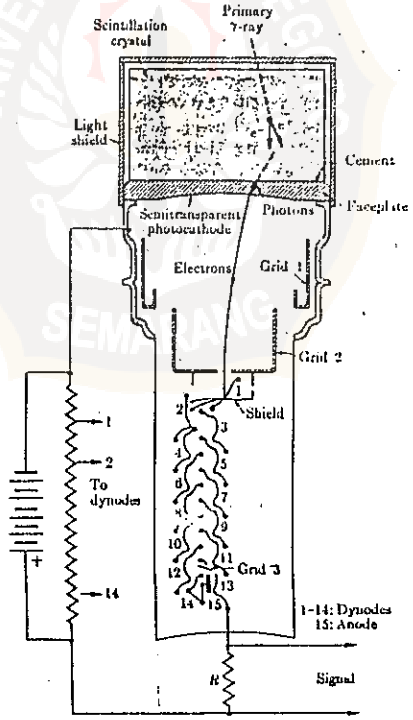
Secara garis besar detektor sintilasi terdiri atas dua bagian utama yaitu : *sintilator* dan *photomultiplier tube* (tabung pengganda foton), dimana tabung pengganda foton ini berfungsi meneruskan proses yang dihasilkan oleh sintilator yaitu percikan cahaya menjadi signal listrik yang merupakan besaran yang dapat diukur. Pada tabung pengganda foton ini masih terdapat beberapa bagian yang

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

penting lagi dengan fungsinya masing-masing yaitu : *fotokatoda, dinoda dan anoda.* Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.1 yang menggambarkan detektor sintilator beserta bagian-bagiannya.

Pada detektor sintilasi mekanisme proses interaksi radiasi hingga menjadi besarannya dapat diukur atau pulsa yang dihasilkan dapat diterangkan dalam urutan sbb:

- Sinar gamma yang masuk ke dalam suatu detektor sintilator akan berinteraksi dengan atom-atom didalamnya menurut efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan.
- Sebagai akibatnya akan terbentuk elektron bebas yang mempunyai tenaga gerak dari sinar gamma yang selanjutnya



Gambar 3.1. **Detektor sintilator.**

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

akan diserahkan melalui proses ionisasi dan eksitasi atom-atom sintilator.

- Sebagian besar dari tenaga yang diserap ini akan dilepas dalam bentuk tenaga panas, akan tetapi sebagian yang lain dilepaskan dalam bentuk foton cahaya.
- Karena foton cahaya yang dihasilkan dari fotokatoda tersebut intensitasnya masih terlalu kecil hingga masih perlu diperbesar lagi dengan melewatkan pada dinoda-dinoda.
- Antara dinoda yang satu dengan dinoda yang lain diberi perbedaan tegangan antara 100 V hingga 150 V. Jadi akibat adanya tegangan ini elektron yang berasal dari foto katoda akan berlipat ganda dan akhirnya setelah sampai pada anoda elektron-elektron itu telah dapat diproses menjadi arus yang dapat terukur.

Besarnya perlipatan elektron yang dihasilkan mulai dari dinoda pertama hingga sampai pada kolektor anoda sering disebut sebagai *Faktor Pelipatan* (M). Jadi jika ada n buah dinoda dengan besarnya pelipatan elektron untuk masing-masing dinoda adalah P, maka hasil pelipatan elektron seluruhnya adalah :[18]

$$M = P^n \qquad (3.1)$$

Dalam spektrometri gamma detektor yang paling sering digunakan adalah yang terbuat dari kristal tunggal Natrium Iodida yang telah "dikotori" dengan sedikit talium. Detektor jenis ini terkenal dengan nama detektor NaI(Tl).

Oleh karena kristal NaI bersifat higroskopis (mudah

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

menyerap air) maka kristal tersebut ditutup rapat-rapat dalam wadah aluminium yang biasanya dilapisi dengan kromium. Dalam wadah Aluminium itu 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 kelipan cahaya yang dihasilkan sintilator dapat masuk secara efektif ke dalam tabung pelipatganda foton. Biasanya kristal NaI(Tl) dibuat dalam bentuk silinder dan ukurannya bermacam-macam tergantung keperluan.

1.1.2. *Detektor Semikonduktor*

Dengan kemajuan perkembangan teknologi semikonduktor, maka detektor juga dibuat dari bahan semikonduktor. Bahan yang biasanya digunakan untuk pembuatan detektor ini adalah bahan yang tersusun oleh atom-atom bervalensi empat (tetravalen) yaitu silikon (Si) dan germanium (Ge). Di alam bahan tersebut selalu tercemar oleh atom-atom lain, yang dinamakan bahan ekstrinsik. Sedangkan bahan yang tidak tercemar oleh adanya atom-atom lainnya atau bahan murni disebut bahan intrinsik.[6,9,14,18]

Dalam pembuatan bahan semikonduktor dikenal istilah *dopping*, yaitu penambahan bahan-bahan yang bukan dari atom yang bervalensi empat, misalnya bervalensi tiga (trivalen) dan bervalensi lima (pentavalen). Dari dopping tersebut

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

kemudian dikenal semikonduktor tipe P dan tipe N, yang berhubungan dengan pembawa muatan.

Semikonduktor tipe P adalah bahan semikonduktor yang di dopping dengan atom bervalensi tiga (trivalen) hingga bahan tersebut mempunyai banyak *hole* sebagai pembawa muatan mayoritas. Sedangkan semikonduktor yang didopping dengan atom bervalensi lima akan mempunyai *elektron* bebas yang bertindak sebagai pembawa muatan mayoritas dan disebut sebagai semikonduktor tipe N.

Detektor germanium adalah dioda semikonduktor dari bahan germanium yang mempunyai struktur P-I-N yang mana daerah *intrinsik* (I) merupakan daerah yang peka terhadap radiasi pengion. Bila dalam keadaan *reverse bias*, sinar gamma berinteraksi di dalam daerah intrinsik atau daerah depleksi *(depletion layer)* yang kemudian akan dihasilkan pembawa muatan. Selanjutnya oleh medan listrik pembawa muatan itu 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 sinar gamma sebesar 3 eV, sedangkan untuk detektor isian gas sekitar 30 eV bahkan untuk detektor sintilator jauh lebih besar yaitu lebih dari 300 eV.[18] Disinilah salah satu letak kelebihan dari detektor semikonduktor.

Karena germanim mempunyai energi gap yang relatif rendah, maka detektor ini harus didinginkan untuk

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

mengurangi arus bocor thermal yang akan menimbulkan derau. Untuk itulah detektor ini harus didinginkan sampai suhu 77^{o} K dalam suatu dewar yang berisi nitrogen cair.

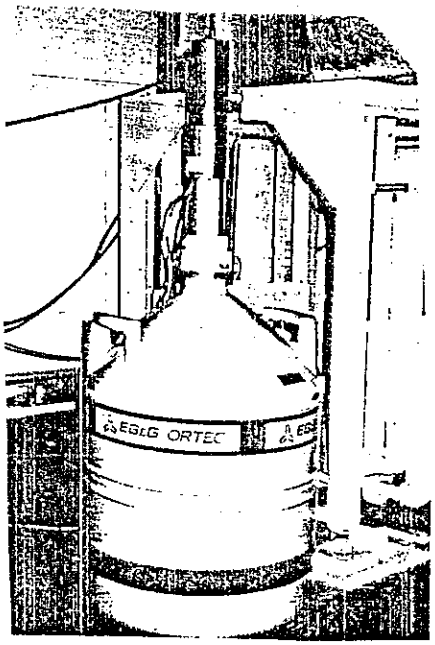
Detektor ini pada umumnya mempunyai tiga bentuk geometri dasar yaitu : planar, koaksial dan sumur. Untuk bentuk *planar* terbuat dari germanium murni, bentuk *koaksial* biasanya terbuat dari germanium lithium drifted [Ge(Li)] atau Hyper Pure Germanium (HPGe), sedangkan bentuk *sumur* juga dari germanium murni.

Detektor HPGe adalah salah satu detektor yang sekarang ini banyak dipakai untuk pencacahan maupun spektrometri gamma, hal ini dimungkinkan karena daerah peka terhadap radiasi atau daerah intrinsik dapat dibuat lebih lebar atau dalam yaitu dengan menurunkan tingkat pengotor atau impuritas hingga mencapai 10^{10} atom $/cm^{3}$ (10^{-6}ppm). Dengan tegangan balik kurang dari 1000 V akan dapat dicapai kedalaman depleksi 10 mm.[4,14]

Detektor germanium koaksial konvensional juga sering disebut sebagai Pure Ge, HPGe, Intrinsik Ge atau Hyperpure Ge. Pada dasarnya detektor tersebut adalah suatu detektor semikonduktor yang berbentuk silinder germanium dengan kontak pada bagian permukaan luar terbuat dari bahan tipe N, dan kontak pada permukaan silinder dalam suatu sumur tipe P. Pada detektor ini tingkat pengotor sekitar 10^{10} atom/cm^{3}.

Kontak tipe N pada bagian luar dari lithium yang terdifusi tebalnya sekitar 0,5 mm, sedangkan kontak pada

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 3.2. **Bentuk detektor germanium HPGe koaksial**

permukaan bagian dalam terbuat dari emas yang diuapkan dengan ketebalan sekitar 40 mg/cm^2.

Detektor germanium koaksial canberra dapat disimpan tanpa pendingin meskipun dalam pengoperasiannya tetap harus didinginkan dengan nitrogen cair untuk menghindari adanya arus bocor thermal. Sedangkan resolusinya pada energi antara 122 - 1332 KeV mempunyai FWHM sebesar 1,856 dan FWTM sebesar 3,90.[20,21]

1.2. Efisiensi Detektor

Telah dijelaskan pada bab terdahulu bahwa detektor yang digunakan pada peralatan supresi Compton adalah detektor HPGe dan detektor NaI(Tl). Detektor HPGe merupakan detektor utama yang dipergunakan untuk mencacah aktivitas yang berasal dari sampel saja dan detektor NaI(Tl) sebagai perisai aktif mengeluarkan pulsa yang dipergunakan untuk operasi sistem anti-koinsidensi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dengan dipakainya detektor HPGe sebagai detektor utama diharapkan memperoleh efisiensi yang maksimum dari sistem sehingga dapat menghasilkan *minimum detactable activity* yang lebih baik. Efisiensi detektor dapat ditentukan dengan pengukuran ataupun perhitungan. Beberapa metoda dapat digunakan untuk pengukuran efisiensi detektor, tapi akan lebih sederhana dan mendapatkan hasil yang baik bila menggunakan metoda yang dikalibrasi dengan sumber/sampel.

Ada beberapa macam efisiensi yang berhubungan dengan detektor yaitu :[4,14,18]

- Efisiensi total intrinsik
- Efisiensi total absolut
- Efisiensi relatif
- *Full energi peak efficiency*
- *Double escape peak efficiency*
- *Single escape peak efficiency*

Pada umumnya efisiensi detektor yang dipakai adalah efisiensi relatif yang dinyatakan dengan:

$$\varepsilon_r = \frac{R_1}{R_2} \times 100\% \qquad (3.2)$$

R_1 = $\frac{\text{nomor cacah pada photopeak 1,332 MeV utk HPGe}}{\text{waktu dalam detik}}$

R_2 = aktivitas gamma dalam cacah per detik dikalikan dengan efisiensi detektor NaI(Tl) yaitu $1,2 \times 10^{-3}$

Efisiensi detektor telah dihitung oleh penempatan Co-60 pada jarak 25 cm dari permukaan detektor dan ditentukan sebesar 19,06%.

Persen efisiensi detektor diukur dengan menggunakan sumber standard Cs-137 dengan formula sbb:

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\varepsilon = \frac{\text{cacah per detik}}{\text{disintegrasi per detik}} \times 100\% \qquad (3.3)$$

Rata-rata disintegrasi sumber N_t dinyatakan dengan menggunakan persamaan radioaktif dasar

$$N_t = N_o \, e^{-(0,693 \times t/T_{1/2})}$$

N_t = cacah sumber setelah waktu t

N_o = cacah sumber mula-mula

t = umur sumber

$T_{1/2}$ = waktu paro

1.3. Resolusi Detektor

Resolusi detektor didefinisikan sebagai kemampuan suatu detektoruntuk memisahkan dua puncak tenaga yang berdekatan. Ukuran resolusi detektor dinyatakan dengan Full Width at Half Maximum (FWHM) atau lebar pulsa pada setengah tinggi maksimum.

Untuk besar FWHM detektor HPGe pada puncak 1,332 MeV dan 1,173 MeV dari energi gamma Co-60 berturut turut adalah 1,856 KeV dan 3,90 KeV.[12]

Jika FWHM pada puncak 1,332 MeV adalah N_r, maka resolusi pada sistem detektor dalam satuan KeV didefinikan sbg:

$$R \text{ (KeV)} = N_r \times \frac{(E_2 - E_1)}{(C_2 - C_1)} \qquad (3.4)$$

R = Resolusi energi dalam KeV

N_r = FWHM pada energi 1,332 MeV

$E_2 - E_1$ = Selisih energi antara 1,332 MeV dan 1, 173 MeV

$C_2 - C_1$ = Selisih kanal pada dua photopeak Co-60

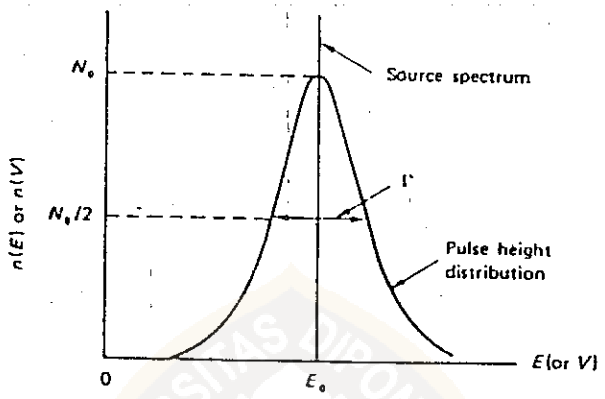
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Resolusi energi dapat juga ditentukan dengan menggunakan harga satu puncak pada FWHM (tanpa menentukan kanal energi lain). Jika FWHM adalah δE dan full width peak adalah E, maka resolusi didefinisikan sbb:

$$R\ (\%) = \frac{\delta E}{E} \times 100\% \qquad (3.5)$$

δE = FWHM

E = Energi pada posisi puncak



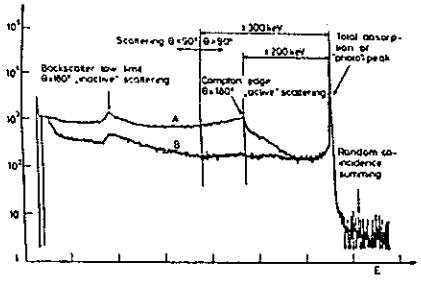
Gambar 3.3. Definisi resolusi detektor untuk satu puncak.

1.4. "Peak to Compton Ratio"

Peak to Compton Ratio dapat didefinisikan sebagai:[8]

$$P/C = \frac{\text{Jumlah cacah pada puncak } 662\ KeV}{\left[\text{Cacah rata-rata pada energi } \begin{matrix}970\ KeV \\ 425\ KeV\end{matrix}\right]}$$

Peak to Compton Ratio ini merupakan salah satu besaran



Gambar 3.4. Sketsa spektrum Cs-137 yang menunjukkan P/C.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

yang penting yang menyangkut kepekaan suatu detektor dalam spektrometri energi, dimana harga P/C yang terbesar berarti perbandingan tinggi puncak akan tampak lebih jelas, seperti tampak pada gambar 3.4. Menurut IEEE, flat (daerah dataran Compton) rata-rata diambil antara 1060 KeV dan 1090 KeV dari sumber Co-60.

2. PERANGKAT SPEKTROMETER SUPRESSI COMPTON

Dalam melakukan pencacahan detektor tidak dapat berdiri sendiri dan harus ada perangkat elektronika lainnya untuk memproses pulsa hasil interaksi antara sinar gamma dengan detektor. Pulsa yang dihasilkan oleh detektor adalah pulsa yang mempunyai waktu timbul (rise time) sangat singkat tetapi akan turun dengan perlahan-lahan. Untuk naik dari 10% hingga 90% tinggi amplitudo pulsa diperlukan waktu kira-kira 1 ms, sedangkan untuk turun dari puncak hingga ketinggian 37% amplitudo pulsa diperlukan waktu antara 50-100 ms. Pulsa semacam ini biasanya disebut Pulsa ekor (tail pulse).

Untuk mengolah pulsa tersebut diperlukan berbagai macam peralatan elektronika sehingga dapat diperoleh suatu grafik pencacahan sampel.

2.1. Preamplifier (penguat awal)

Pulsa keluaran dari detektor sebelum masuk ke penguat didahului oleh penguat awal. Selain melakukan penguatan awal terhadap pulsa keluaran dari detektor, preamplifier

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

juga mempunyai fungsi sbb :

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

Selain itu penguat awal juga dapat 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.

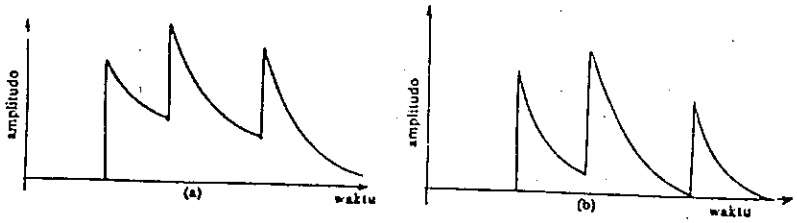
2.2. Amplifier (penguat)

Setelah melewati preamplifier, pulsa dari detektor masuk ke amplifier dalam bentuk pulsa tegangan setelah dirubah oleh penguat awal dari pulsa muatan. Pulsa tegangan ini diperkuat oleh penguat peka tegangan atau penguat linier. Dalam penguat ini pulsa dipertinggi sampai amplitudo yang dapat dianalisa dengan alat penganalisa tinggi pulsa. Penguatan *(gain)* dari amplifier ini dirancang linier dan dapat diatur dalam suatu jangkauan (range) yang luas yaitu antara 5 - 2000.

Selain untuk mempertinggi pulsa, penguat juga mempunyai fungsi lain yaitu memberi bentuk pulsa. Pulsa ekor yang keluar dari penguat awal dibentuk sekali lagi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

untuk memperoleh pulsa yang jauh lebih sempit dengan waktu timbul lebih lambat dan waktu jatuh lebih cepat.



Gambar 3.5. Gejala pile up sebelum dan sesudah dipendekkan

Apabila aktivitas sinar gamma yang dideteksi lebih besar maka pulsa satu akan tumpang tindih dengan pulsa yang lain. Gejala semacam ini sering disebut *pile up* dan mengakibatkan perubahan tinggi tiap individu pulsa, sehingga harus diatasi. Untuk mengatasi hal itu pulsa dapat diperpendek dengan mendeferensialkan pulsa tersebut dengan suatu rangkaian *pendeferensial RC*.

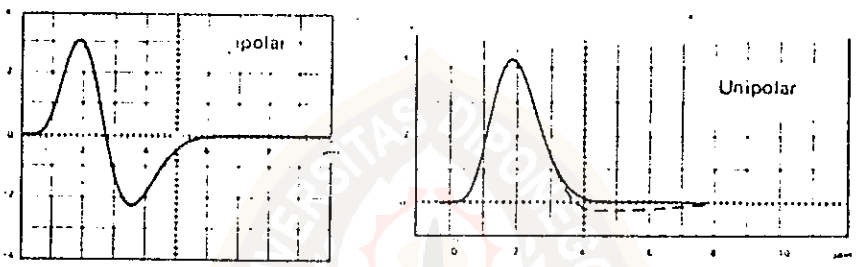
Pulsa yang dihasilkan oleh suatu rangkaian pendeferensial biasanya belum dapat diproses oleh penganalisa salur ganda. Dengan demikian pulsa dibentuk lebih lanjut menggunakan rangkaian *pengintegral*. Apabila digunakan gabungan satu rangkaian pendeferensial dan satu rangkaian pengintegral akan didapat pulsa *unipolar*. Apabila pulsa masukan dideferensialkan dua kali dan kemudian baru diintegralkan maka akan diperoleh pulsa *bipolar*.

Biasanya sebuah penguat mempunyai dua keluaran yaitu unipolar dan bipolar. Pemilihannya tergantung pada

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

detektor yang dipakai. Jika yang dipakai detektor semikonduktor biasanya dipilih unipolar, tapi jika digunakan detektor NaI(Tl) biasanya dipilih bipolar. Bipolar juga digunakan pada laju cacah sampel yang tinggi.

Selain itu dalam penguat spektroskopi biasanya juga terdapat tombol *shaping time* yang mengatur waktu pembentukan pulsa. *Shaping time* berhubungan dengan daya pisah sistem. Makin tinggi *shaping time* makin tinggi pula daya pisah sistem. Untuk pengukuran spektrometri gamma biasanya dipilih *shaping time* sekitar 1 μs.



Gambar 3.6. **Pulsa unipolar dan pulsa bipolar**

Keterangan : a. sebelum disesuaikan

b. sesudah disesuaikan

Gambar 3.7. **Penyesuaian pole-zero**

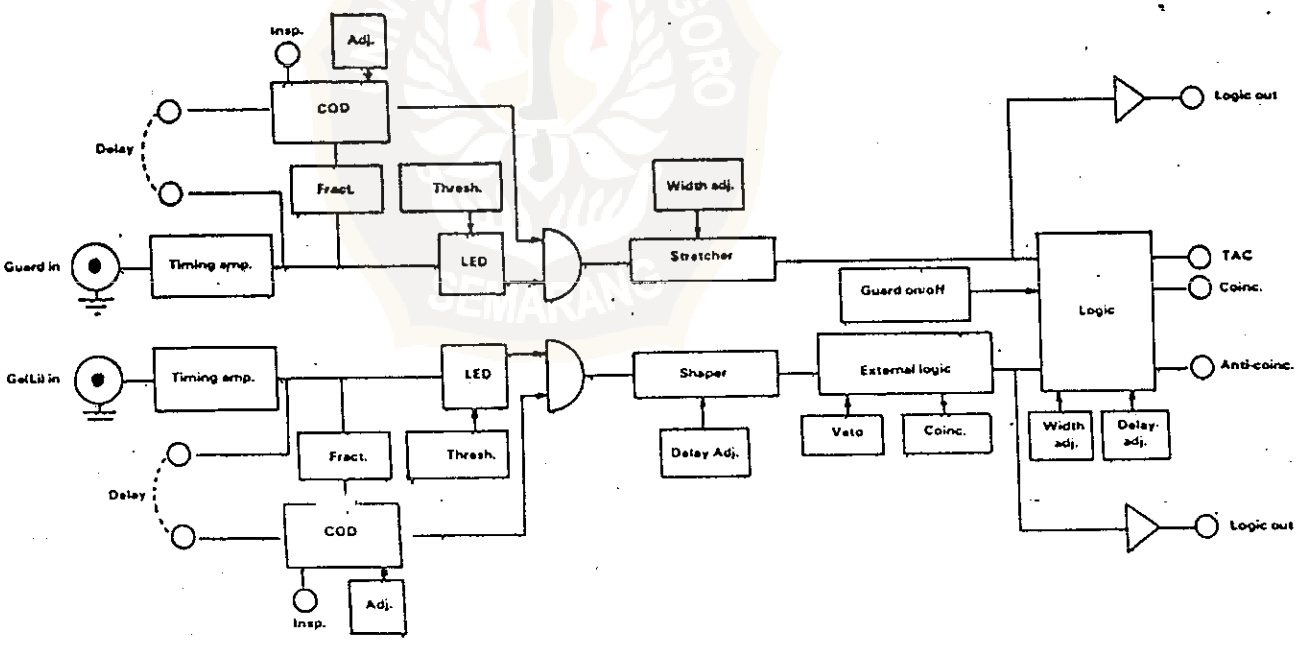
Seperti telah dijelaskan dimuka dalam pendeferensialan pulsa keluaran penguat awal yang berupa pulsa ekor akan menghasilkan pulsa yang mempunyai bagian

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

di bawah garis dasar *(zero cross over)*. Hal ini akan menurunkan daya pisah sistem pada laju cacah yang tinggi. Untuk mengatasinya dilakukan penyesuaian pole - zero sehingga pulsa dibawah garis dasar hilang.

2.3. Penganalisa Anti-Compton

Penganalisa anti-Compton adalah suatu sistem yang dapat mengurangi Compton kontinyu sampai serendah mungkin. Sistem ini telah menyediakan dua masukan yaitu masukan *preamplifier* yang berasal dari detektor utama dan *preamplifier* detektor pelindung. Dari kedua masukan ini diolah yang kemudian menghasilkan keluaran dengan prinsip anti-koinsidensi dan koinsidensi yang selanjutnya telah dapat diterima MCA.



Gambar 3.8. Blok diagram penganalisa anti-Compton (Model NC-26R Harshaw)

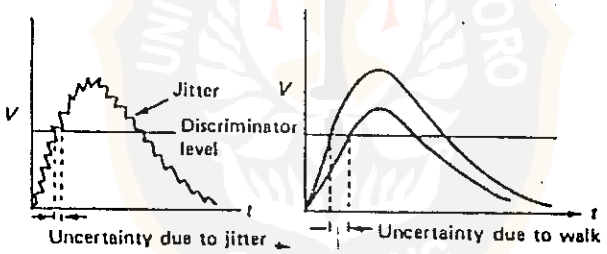
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Dalam melakukan pengolahan masukan, di dalam sistem ini sendiri terdapat beberapa peralatan (lihat gambar 3.8) yang dapat diatur sehingga menghasilkan keadaan yang maksimum. Peralatan tersebut diantaranya:

- *Leading-Edge Discriminator*

Leading-Edge Discriminator menentukan waktu datang pulsa yang masuk ke sistem. Batas diskriminator diatur sehingga didapatkan pulsa yang datang ditentukan dari titik dimana pulsa masukan memotong batas diskriminator. *Leading-edge* ini dipengaruhi oleh *jitter* dan *walk*.

Jitter adalah nama lain dari derau elektronik. Dengan adanya *jitter* maka pulsa datang tidak menentu yang tergantung pada amplitudo derau.



Gambar 3.9. Ketidaktentuan karena *jitter* dan *walk*

Walk timbul karena adanya perbedaan waktu naik pulsa yang disebabkan pulsa datang pada titik yang sama dan memotong diskriminator pada posisi yang berbeda. *Walk* dapat dikurangi dengan mengatur diskriminator serendah mungkin atau dengan membatasi jangkauan amplitudo pulsa. Tetapi kedua koreksi ini dapat menimbulkan kesulitan baru yaitu pengaturan diskriminator terlalu kecil menyebabkan bagian

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

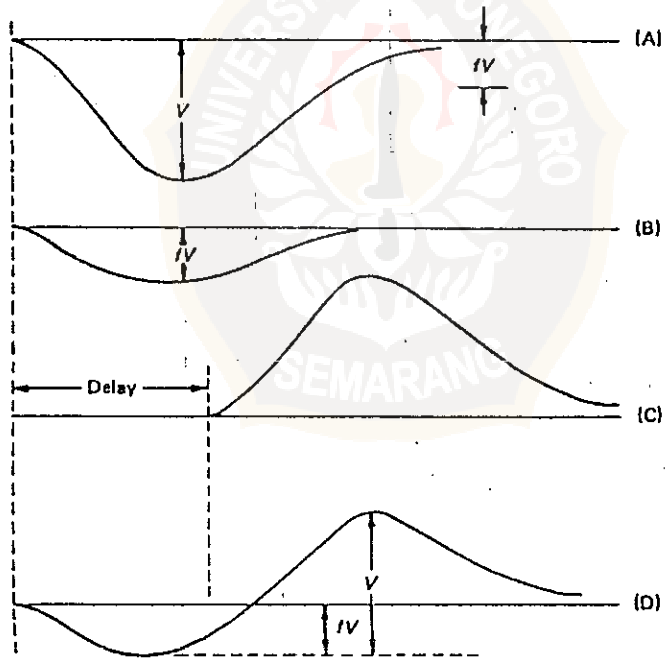
derau dapat tercacah, sedangkan pembatasan jangkauan pulsa dapat mengurangi kecepatan pencacahan.

- *Cross Over Discriminator*

Cross Over Discriminator untuk mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh *jitter* dan *walk*. Idealnya semua pulsa memotong diskriminator pada posisi yang sama tetapi dalam prakteknya ada *walk* yang disebabkan waktu naik pulsa tidak sama. Sehingga dengan mengatur diskriminator dapat mengurangi pengaruh *jitter* dan *walk*.

- *Constant Fraction Timing*

Prinsip dari *Constant Fraction Timing* ditunjukkan dalam gambar 3.10.



Gambar 3.10. Teknik constan fraction

Mula-mula pulsa A diperlemah dengan faktor f yang sama bagian tinggi pulsa yang dipakai sebagai dasar B. Pulsa

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

mula-mula dibalik dan ditunda (C) untuk waktu yang lebih lama dari waktu naiknya. Kemudian pulsa C dan B dijumlahkan dan diperoleh D. Pulsa keluaran akan timbul saat pulsa D memotong.

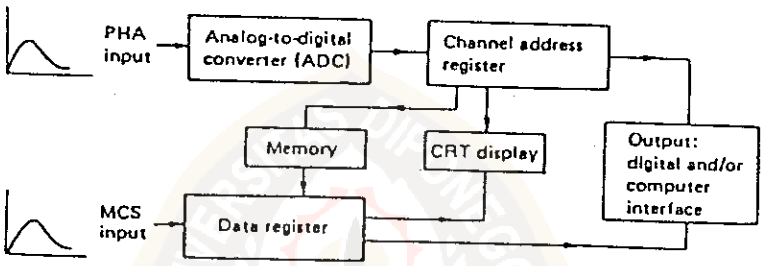
Informasi *timing* dalam sistem Penganalisa Anti-Compton ini diperoleh dengan menggunakan penguat cepat yang digabung dengan ARC CF (*Amplitude and Rise-time Corrected Constant Fraction*) *timers*.[19]
Metode ARC CF adalah variasi dari teknik *constant fraction* yang dibedakan dengan jumlah pulsa yang ditunda. Penundaan dalam *constant fraction* lebih lama dari waktu naik pulsa, namun metode ARC CF lebih pendek dari waktu naiknya.[14]

2.4. Multi Channel Analyzer (penganalisa salur ganda)

Multi Channel Analyzer (MCA) adalah peralatan yang dapat mengolah pulsa yang dari penguat dan menempatkannya pada nomer kanal yang sesuai dengan tinggi pulsa tersebut sehingga menghasilkan spektrum secara sekaligus. Kebanyakan MCA yang modern mempunyai 4000-8000 salur pencacahan. Dalam perangkat MCA sendiri ada penganalisa tinggi pulsa (*Pulse Height Analysis - PHA*) yang biasanya dihubungkan dengan detektor semikonduktor seperti HPGe. PHA dipergunakan untuk mengeluarkan pulsa sesuai dengan tingginya dan jumlah pulsa kedalam salur atau kanal yang sesuai pada penyimpan (*memory*) MCA yang dinamakan nomer kanal.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Sedangkan skala salur ganda *(Multi Channel Scaling - MCS)* digunakan untuk menghitung cacah sebagai fungsi waktu. Satu kanal memori menghitung semua pulsa masuk untuk suatu waktu Δt. Setelah beberapa waktu Δt, penghitungan pindah secara otomatis ke kanal selanjutnya dalam memori, kemudian dihasilkan spektrum pada akhir dari pencacahan. Sebagai contoh bila sumber radiasi adalah isotop yang mempunyai waktu hidup pendek, MCS akan menyediakan kurva peluruhan eksponensial yang dapat dipergunakan untuk menentukan waktu paro dari isotop.



Gambar 3.11. **Blok diagram sederhana dari MCA**

Dalam PHA pulsa masuk sampai ke bagian yang disebut *Analog to Digital Converter (ADC).* ADC mengolah amplitudo pulsa yang mana menghasilkan jumlah yang sebanding dengan tinggi pulsa, jumlah yang menentukan kanal dimana pulsa akan ditempatkan. Ukuran ADC juga menentukan salur, yang mengandung pengertian bahwa merupakan bagian mutlak dari sistem. Tentunya ADC menentukan bagian yang diskrit ke dalam tinggi pulsa yang terbagi lagi. ADC di pasaran mempunyai ukuran waktu atas sampai kanal 8192, dengan skala penuh yang terbagi dalam kanal 256, 512, 1024, dsb.[14]

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3. SISTEM DAN CARA KERJA SPEKTROMETER SUPESSI COMPTON

Sesuai dengan tujuan dari pembuatan spektrometer anti Compton ini yaitu untuk mengurangi seminimal mungkin adanya cacah latar yang dapat mempertinggi dataran Compton, sehingga dengan penurunan dataran ini diharapkan dapat mendeteksi sampel yang mempunyai aktivitas rendah. Dengan demikian dalam pemilihan jenis detektor dan sistem yang diperlukan harus mengacu pada tujuan dan penggunaannya.

Karena spektrometer ini dipergunakan untuk pencacahan sampel aktivitas rendah, maka harus memperhatikan beberapa hal diantaranya penggunaan bahan yang memiliki aktivitas rendah, menggunakan bahan penahan radiasi latar, menggunakan sistem elektronika untuk pengurangan cacah latar yang dioperasikan dengan prinsip anti-koinsiden.

Spektrometer Supressi Compton ini memiliki bagian-bagian yang pokok yaitu detektor utama, detektor pelindung sebagai perisai aktif dan perisai pasif.

3.1. Detektor Utama

Kedudukan detektor utama dalam spektrometri ini adalah untuk pencacahan sampel sehingga harus dipertimbangkan beberapa hal antara lain mempunyai resolusi yang baik, efisiensinya tinggi, dapat mendeteksi sampel sampai serendah mungkin, dan *peak to Compton ratio*-nya besar.

Untuk keperluan tersebut di atas, maka yang dapat

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

memenuhi syarat adalah detektor semikonduktor. Dengan berbagai pertimbangan maka dipilih detektor Hyper Pure Germanium (HPGe). Detektor HPGe mempunyai FWHM sebesar 1,856 KeV dan FWTM sebesar 3,90 KeV. Untuk pengukuran dalam energi gamma 122 - 1332 KeV biasanya diberikan jangkauan FWHM antara 1,65 KeV sampai 2,5 KeV.[12,15] Efisiensi relatif, persen efisiensi, peak to Compton ratio, minimum detactable activity dan sensitivitas minimum dapat ditentukan. Telah banyak dilakukan pencacahan sampel aktivitas rendah dengan detektor ini memperoleh hasil yang baik.

3.2. 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-koinsiden yang dimaksudkan agar cacah dari detektor utama saja yang diolah dan dikeluarkan oleh MCA.

Sebagai pertimbangan penggunaan perisai aktif dengan detektor sintiletor 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.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3.3. Perisai Pasif

Radioaktivitas latar 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 di atas, yang sering digunakan adalah timbal (Pb) yang cukup efektif untuk

Gambar 3.12. Sistem perisai pada spektrometer compton supressi

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

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 semikian rupa sehingga dengan semakin tebal perisai, semakin sedikit sinar kosmis yang dapat menerobos.

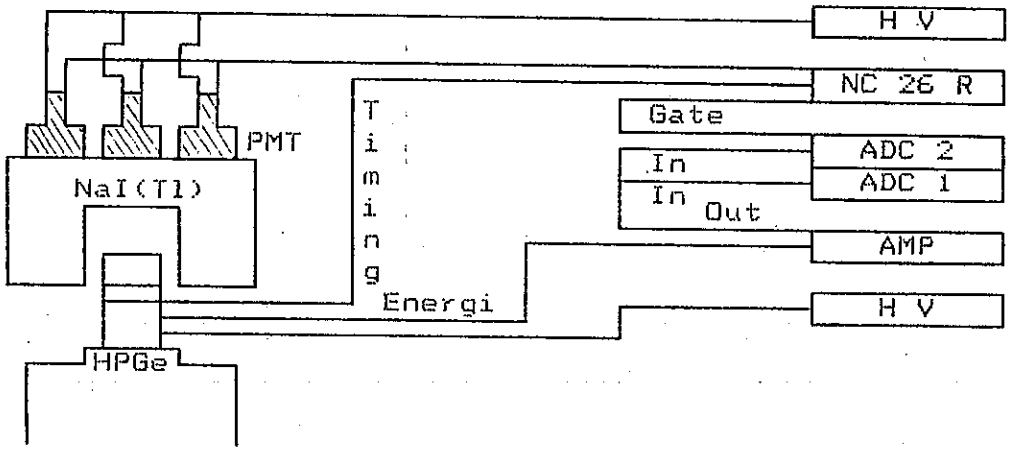
Kedua detektor ditempatkan di dalam perisai pasif yang terbuat dari timbal dengan ketebalan 4 inchi dan dilapisi dengan kadmium (Cd). Perisai aktif ini berbentuk silinder berongga dengan sebuah pintu untuk menempatkan sampel. Detektor utama berada dibawah menghadap keatas dengan disangga dengan dewar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

3.4. Cara Kerja Spektrometer

Radiasi lingkungan yang dapat menyumbang pada dataran Compton akan mempersulit pencacahan sampel aktivitas rendah. Dengan menggunakan perisai aktif dan perisai pasif yang dipasang sedemikian rupa maka diharapkan dapat mereduksi radiasi latar. Untuk memahami cara kerja sistem ini terlebih dahulu dapat melihat bagan sistem dibawah ini.

Adanya perisai pasif yang terbuat dari timbal yang dilapisi oleh kadmium memungkinkan cacah latar yang berasal dari lingkungan telah berkurang intensitasnya untuk masuk ke detektor. Jadi proses selanjutnya adalah

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 3.13. Diagram blok sistem supressi compton

pengurangan cacah latar secara elektronik dengan prinsip anti-koinsidensi.

Dalam memahami kerja sistem pencacah ini setelah detektor dikenai sinar gamma dan terjadi interaksi antara keduanya sehingga menghasilkan pulsa keluaran. Pulsa tersebut masih terlalu kecil sehingga perlu diperkuat dengan menggunakan penguat awal. Untuk penguat awal dari detektor utama selain masuk ke penguat linier yang selanjutnya ke MCA, juga masuk ke *timing amplifier* di dalam Penganalisa Anti-Compton yang selanjutnya diolah dalam sistem tersebut. Sementara itu untuk penguat awal dari detektor pelindung langsung masuk ke *linier amplifier* di dalam sistem Penganalisa Anti-Compton. Dari Penganalisa Anti-Compton ini didapat keluaran yang telah dapat diolah oleh MCA.

Secara garis besar prinsip kerja dari Spektrometer Supresi Compton ini adalah :

- Sinar gamma yang masuk pada detektor utama (HPGe) dan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

juga masuk ke detektor pelindung (NaI(Tl)), maka tidak ada keluaran dari MCA

- Sinar gamma yang masuk pada detektor NaI(Tl) saja sedangkan pada detektor HPGe tidak ada cacah, maka tidak ada keluaran dari MCA
- Sinar gamma yang berasal dari sampel dan tidak masuk pada kedua detektor maka tidak ada keluaran dari MCA
- Sinar gamma yang berasal dari sampel dan hanya masuk ke detektor HPGe saja maka akan ada keluaran dari MCA.

Untuk mempermudah pengertian dapat dilihat tabel berikut:

HPGe	NaI(Tl)	Coins	MCA
tidak	ada	tidak	tidak
tidak	tidak	tidak	tidak
ada	ada	ada	tidak
ada	tidak	tidak	ada

4. "MINIMUM DETACTABLE ACTIVITY"

Tingkat aktivitas terendah yang dapat terdeteksi tergantung pada beberapa faktor, terutama kesalahan maksimal hasil pengukuran. Walaupun tidak ada aturan umum mengenai kesalahan maksimum penerimaan σ_r, batas atas yang diatur dengan syarat $\sigma_r \leq r$, sering hanya merupakan pengukuran yang dipaksakan.

$$\sigma_r \leq f_r \qquad f < 1 \qquad (3.6)$$

adalah merupakan kesesuaian dan rata-rata cacah minimum yang diterima (deteksi minimum) dapat diukur.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Menganggap bahwa sistem pencacahan konstan dan *background* sama dengan $b \pm \sigma_b$ cacah/menit, juga menganggap bahwa waktu cacah dengan sampel T menit, dengan pendekatan $r = \frac{G}{t_G} - \frac{B}{t_B} = g - b$ dan $\sigma_r = (\frac{G}{t_G^2} + \frac{B}{t_B^2})^{1/2}$ maka persamaan (3.6) menjadi :

$$(\frac{G}{2} - \sigma_b^2)^{1/2} \leq f_r \qquad (3.7)$$

cacah kotor G dapat ditulis dari persamaan $r = g - b$ sehingga

$$G = (r + b)T \qquad (3.8)$$

jika nilai G yang disubstitusikan ke persamaan (3.7) dan hasilnya diselesaikan sebagai cacah rata-rata r, maka :

$$r \geq \frac{1+(1+4f^2bT+4f^2T^2\sigma_b^2)^{1/2}}{2f^2T} \qquad (3.9)$$

Dari persamaan (3.9) maka cacah rata-rata minimum yang terdeteksi terhantung pada tiga faktor yaitu :

1. Faktor f ditentukan dalam penelitian
2. *Background* rata-rata b dan σ_b, tergantung pada sistem pencacahan
3. Waktu cacah T yang dibatasi oleh waktu paro dari isotop yang telah dicacah dan kestabilan elektronik (peralatan elektronik modern harus menunggu beberapa jam untuk memperoleh stabil).

Dalam beberapa kasus, persamaan (3.9) dapat disederhanakan sebab dua faktor terakhir yang dibawah akar kuadrat lebih besar dari pada satu, sehingga :

$$r \geq \frac{(4f^2bT+4f^2T^2\sigma_b^2)^{1/2}}{2f^2T} = \frac{1}{f}(\frac{b}{T} + \sigma_b^2)^{1/2} \qquad (3.10)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

jika $b/T \ll \sigma_b^2$, persamaan (3.10) lebih disederhanakan menjadi :

$$r \geq \frac{\sigma_b}{f} \qquad (3.11)$$

5. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PENGUKURAN

Dalam melakukan pengukuran suatu sampel untuk mendapatkan suatu hasil yang maksimum tidak terlepas dari berbagai faktor yang mempengaruhi baik dari faktor lingkungan disekitar alat, faktor sumber maupun faktor alat itu sendiri. Untuk itu perlu diketahui faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut sehingga dapat diperoleh sebab dan akibat dengan adanya pengaruh itu.

Faktor yang mempengaruhi pengukuran tersebut antara lain adalah ketidaklinieran kalibrasi tenaga, penyediaan sampel, dead time, gejala pile up dan penjumlahan pulsa.

5.1. Ketidaklinieran Kalibrasi Tenaga

Suatu pencacahan radionuklida perlu diketahui tenaga dari puncak-puncaknya. Untuk menentukan jangkauan tenaga dalam pencacahan ini diperlukan suatu kalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi ini dilakukan dengan memakai dua atau lebih puncak tenaga sinar gamma saja (biasanya memakai Co-60).

Hubungan antara nomor kanal dan tenaga adalah:[15,18]

$$\frac{C_m}{E_m} \approx \frac{C_1}{E_1}$$

$$C_m \approx \frac{E_m}{E_1} C_1 \qquad (3.12)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

C_m dan C_i adalah nomor kanal pada MCA

E_m dan E_i adalah energi MCA dan energi sumber

Diperoleh suatu hubungan pendekatan bahwa setelah dikalibrasi nomer kanal pada MCA dengan nomor energi yang tertentu dapat untuk menentukan energi dari sumber, tetapi hubungan ini hanya merupakan suatu pendekatan saja sehingga tidak mutlak.

Persamaan garis kalibrasi tenaga karena tidak mutlak linier maka menjadi :

$$E = aC + b + \varepsilon_{(C)} \qquad (3.13)$$

E = tenaga sinar gamma

C = nomor kanal

$\varepsilon_{(C)}$ = koreksi ketidaklinieran

Bila $\varepsilon_{(C)}$ dinyatakan dalam bentuk polinomial pangkat n, maka persamaan (3.13) menjadi :

$$E_i = \sum_{j=o}^{n} \alpha_j C_i^j \;,\; j = 0, 1, 2, \ldots, n \qquad (3.14)$$

Karena tiap tenaga standard E_i dibaca dari tabel isotop mempunyai ketidakpastian dan nomor kanal C_i mempunyai ralat dari fluktuasi statistik signal pulsa, maka sebaiknya kalibrasi tenaga dilakukan dengan memakai banyak sumber standard.

5.2. Penyediaan Sampel

Penyediaan sampel dimaksudkan untuk mendapatkan puncak cacah yang maksimal dengan mengikuti prosedur dan tata cara dalam pengambilan maupun dalam penyediaan ke dalam sistemnya. Untuk menghindari adanya hamburan, maka

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

sebaiknya sampel disiapkan dalam bentuk titik.

Karena dalam penelitian ini sampel yang digunakan adalah sampel standard, maka tidak secara mendetail dalam mengulas masalah preparasi sampel ini. Tetapi selain memperhatikan cara penyediaan sampel, maka masih harus mempertimbangkan pula ketelitian dalam kalibrasi dengan sampel standard. Sehingga sampel yang dibuat harus mempunyai geometri yang sama dengan sampel standard. Selain itu pula harus diusahakan dalam kondisi yang sama antara lain bentuk kimia dari radionuklida, pembungkus sampel, dll. Perlu diusahakan pula agar sampel tidak mudah menimbulkan bahaya kontaminasi baik kepada manusia, detektor, tempat kerja maupun peralatan lainnya sehingga harus dalam keadaan tertutup rapat.

5.3. Dead Time (waktu mati)

Dead time dari suatu spektrometer gamma adalah selang waktu minimum dimana dua sinyal pulsa yang berurutan perlu dipisahkan agar keduanya dapat tercacah, baik yang berasal dari counter, preamplifier, amplifier, diskriminator, maupun dari peralatan yang lain.

Apabila τ adalah *dead time* dari sistem dan g adalah rata-rata pencacahan, selang waktu selama sistem tidak peka adalah τg. Jika n adalah rata-rata pencacahan sebenarnya, maka jumlah pencacahan yang hilang adalah $n(g\tau)$. Sehingga :[12]

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$n = g + ng\tau$$

$$= \frac{g}{1 - g\tau} \qquad (3.15)$$

persamaan (3.15) menjadi benar apabila pengamatan cacah kotor rata-rata g untuk kehilangan pencacahan tergantung pada waktu mati pencacah.

Metode pengukuran *dead time* dengan memakai dua sumber dengan n_1, n_2, n_{12} adalah cacah latar rata-rata dari cacah sampel pertama, kedua dan keduanya, dan n_b adalah rata-rata *background* yang sebenarnya, dengan pertimbangan rata-rata pencacahan g_1, g_2, g_{12} dan b maka :

$$(\text{rata-rata cacah bersih})_1 + (\text{rata-rata cacah bersih})_2 = (\text{rata-rata cacah bersih})_{1+2}$$

$$(n_1 - n_b) + (n_2 - n_b) = (n_{12} - n_b)$$

atau $n_1 + n_2 = n_{12} + n_b \qquad (3.16)$

Dari persamaan (3.15) didapat :

$$\frac{g_2}{1-g_1\tau} + \frac{g_2}{1-g_2\tau} = \frac{g_{12}}{1-g_{12}\tau} + \frac{b}{1-b\tau} \qquad (3.17)$$

Bila dianggap $b\tau << 1$ maka $\frac{b}{1-b\tau} = b$, persamaan (3.17) dapat diubah menjadi :

$$(g_1g_2g + g_1g_2b - g_1g_{12}b - g_2g_{12}b)\tau^2 - 2(g_1g_2 - g_{12}b)\tau + g_1 + g_2 - g_{12} - b = 0 \qquad (3.18)$$

Persamaan diatas adalah persamaan kuadrat dan dapat disederhanakan untuk beberapa kasus:

1. Jika *background* diabaikan menjadi :

$$g_1g_2g_{12}\tau^2 - 2g_1g_2\tau + g_1 + g_2 - g_{12} = 0 \qquad (3.19)$$

2. Jika rata-rata pencacahan adalah $\frac{1}{1-g_i\tau} \approx 1+g_i\tau$, $i=1,2,12$ maka nilai dari τ adalah :

$$\tau = \frac{g_1+g_2-g_{12}-b}{g_{12}^2-g_1^2-g_2^2} \qquad (3.20)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Apabila *dead time* dikoreksi maka cacah bersih rata-rata adalah :

$$r = n - b = \frac{G/t_a}{1-(G_\tau/t_a)} - b \qquad (3.21)$$

G adalah jumlah cacah (cacah kotor) yang diterima silama waktu t_a saat ada sampel. Dapat diasumsikan bahwa rata-rata *background* sebenarnya telah ditentukan dengan kesalahan standard σ_b. Jika hanya sumber pencacahan kotor G dan *background*, kesalahan standard dari r adalah :

$$\sigma_r = [(\frac{1}{1-g\tau})^4 \frac{G}{t_a^4} + \sigma_b^2]^{1/2} \qquad (3.22)$$

5.4. Gejala Pile Up dan Penjumlahan Pulsa

Gejala *pile up* terbentuk bila ada dua buah foton mengenai detektor dalam selang waktu yang lebih kecil dari *shaping time* (waktu pembentukan pulsa) pada penguat. Akibatnya pulsa-pulsa tersebut tidak dapat diteruskan atau dicacat pada nomer kanal yang seharusnya ditempati. Pulsa yang mengakibatkan *pile up* tersebut dapat berasal dari satu inti yang tumpang tindih maupun dari dua inti yang berbeda.

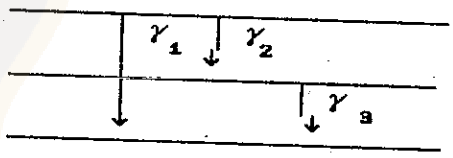
Karena kecepatan terbentuknya pulsa sebanding dengan laju pencacahan, maka gejala *pile up* sebanding dengan laju pencacahan pula, sehingga semakin tinggi laju pencacahan, semakin tinggi pula pulsa yang hilang akibat gejala *pile up*. Besar *pile up* ini dapat dimonitor dengan menggunakan pembangkit pulsa (pulser) yang beroperasi bersamaan dengan pengukuran sampel yang mendasarkan pada laju cacah puncak pulser yang tetap. Data yang masuk pada pulser diolah dan

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

diperlakukan tepat sama dengan sampel sehingga didapatkan laju cacah pulser.

Selain gejala *pile up* diatas, timbul gejala lain yang koinsiden yang disebabkan oleh transisi yang berurutan dari satu inti yang sama. Gejala ini tak berhubungan dengan laju pencacahan, tetapi berhubungan dengan efisiensi detektor untuk foton yang bersangkutan. Akibatnya dapat menimbulkan puncak yang mengalami penambahan atau pengurangan cacah.

Apabila terjadi suatu transisi yang melibatkan dua sinar gamma yang waktunya hampir bersamaan yaitu γ_1 langsung menuju ke tingkat energi yang paling rendah, sedangkan γ_2 melewati dua tingkat energi (seperti gambar dibawah) maka puncak γ_1 akan mengalami penambahan cacah yang berasal dari pasangan γ_2 dan γ_3. Karena gejala penjumlahan cacah inilah maka maka efek ini dinamakan *penjumlahan korelasi* ("correlated summing"). Pengaruh penjumlahan ini cukup kecil dalam pengukuran tapi kadang-kadang ditemui suatu keadaan dimana kemungkinan terjadinya transisi γ_1 jauh lebih rendah dari efek penjumlahan sehingga koreksi ini sangat berpengaruh.



Gambar 3.14. Transisi γ

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)