

BAB II

D A S A R T E O R I

II.1. RADIASI NUKLIR

Radiasi nuklir yang dipancarkan oleh inti yang bersifat radioaktif adalah radiasi α , β dan γ . Radiasi sinar x bukan dipancarkan oleh inti tetapi dari bagian luar inti yaitu dari elektron-elektron yang mengalami perpindahan lintasan. Inti radioaktif yang memancarkan radiasi nuklir akan meluruh, intinya berubah menjadi inti lain dalam jangka waktu tertentu. Dalam peluruhan tersebut harus dipenuhi hukum kekekalan momentum, tenaga, muatan

Radiasi α merupakan pancaran partikel dari 2 proton dan 2 netron, jadi bermuatan 2 satuan muatan positif dan massanya 4 kali satuan massa inti. 1 satuan muatan sama dengan $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, 1 satuan massa sebanding dengan $1,66 \cdot 10^{-27}$ kg. Radiasi β adalah pancaran elektron bermuatan 1 muatan negatif dan massanya sangat ringan sebanding dengan 1/1800 kali satuan massa inti. Disamping itu ada radiasi β bermuatan positif yaitu pancaran positron. Radiasi γ berupa gelombang elektromagnetik, seperti cahaya tetapi panjang gelombangnya sangat pendek atau tenaganya sangat kuat, tidak ada muatan listriknya.

Inti radioaktif memancarkan radiasi α atau β umumnya disertai dengan radiasi γ . Oleh radiasi α atau β , inti akan berubah menjadi inti lain. Inti radioaktif Am^{241} memancarkan radiasi α disertai radiasi γ berubah menjadi Np^{237} , pers. reaksinya :



Tenaga radiasi $\alpha = E\alpha = 5148 \text{ MeV}$

Tenaga radiasi $\gamma = E\gamma = 60 \text{ KeV}$

Umur paronya = 460 th.

Inti radioaktif Co^{60} memancarkan β disertai radiasi γ dengan umur paronya 5,3 th menjadi inti Ni^{60} :



$E\alpha = 0,31 \text{ MeV}$

$E\gamma = 1,17 \text{ MeV}$ dan $1,33 \text{ MeV}$

Peluruhan suatu inti radioaktif bersifat eksponensial turun. Bila jumlah inti mula-mula N_0 , maka jumlah untuk waktu t dari awal dapat dituliskan :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

λ merupakan tetapan peluruhan yang bergantung pada jenis unsur radioaktif.

Dari persamaan di atas, bila $N = \frac{1}{2} N_0$, sesuai untuk waktu paro dapat ditulis :

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

II.2. INTERAKSI SINAR γ DENGAN MATERI

Sinar γ merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang dapat pula ditinjau sebagai paket-paket catu tenaga yang dinamakan foton γ . Dalam pencacah γ , interaksi sinar dengan materi akan terjadi proses *efek fotolistrik*, *hamburan Compton* dan *pembentukan pasangan*. Ketiga proses tersebut akan membebaskan elektron dari atom-atom materi yang berinteraksi dengan sinar γ .

Efek fotolistrik terjadi pada daerah tenaga sinar γ di bawah 1 MeV. *Hamburan Compton* terjadi pada daerah tenaga yang sangat lebar dan *pembentukan pasangan* pada tenaga sinar γ di atas 1,022 MeV.

II.2.1. EFEK FOTOLISTRIK

Efek fotolistrik terjadi karena adanya interaksi antara foton γ dengan sebuah elektron yang terikat kuat di dalam atom, yaitu elektron pada kulit bagian dalam, biasanya kulit K atau L.

Foton γ akan menumbuk elektron pada kulit bagian dalam dan karena elektron terikat kuat, maka seluruh tenaga foton γ akan diserap seluruhnya. Akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga

gerak sebesar selisih tenaga foton γ dan tenaga ikat elektron.

$$E_e = E_\gamma - W$$

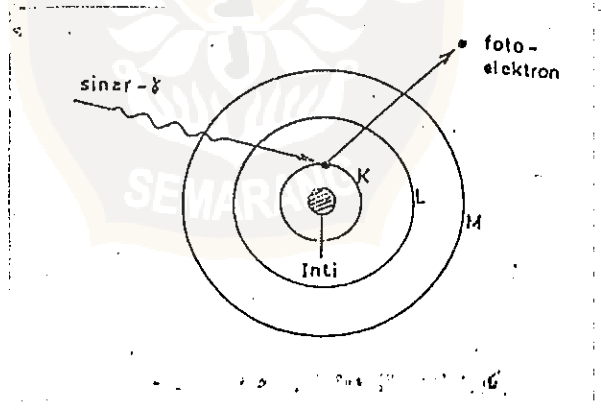
(II.2.1)

E_e = Tenaga kinetik elektron.

E_γ = Tenaga foton γ .

W = Tenaga ikat elektron.

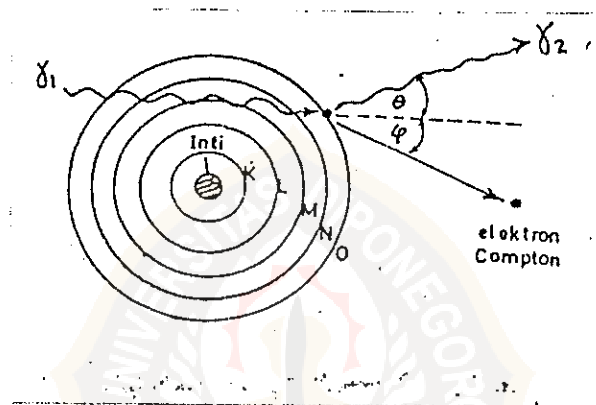
Elektron yang dipancarkan disebut *fotoelektron*. Atom yang terionisasi akibat *efek fotolistrik* dalam keadaan tidak stabil/teruja. Lowongan yang ditinggalkan *fotoelektron* akan segera diisi oleh elektron pada kulit berikutnya, demikian seterusnya.



Gambar II.1. Peristiwa efek fotolistrik

II.2.2. HAMBURAN COMPTON

Hamburan Compton terjadi antara foton γ dengan sebuah elektron bebas (elektron yang terikat lemah). Elektron-elektron yang dikategorikan sebagai elektron yang terikat lemah adalah elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom.



Gambar II.2. *Peristiwa Hamburan Compton*

Apabila foton γ menumbuk elektron jenis ini, maka berdasar hukum kekekalan momentum tidak mungkin elektron akan dapat menyerap seluruh tenaga foton γ seperti yang terjadi dalam *efek fotolistrik*. Foton γ akan menyerahkan sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur menurut $\angle \theta$ terhadap arah gerak foton γ mula-mula. Secara

sederhana hal ini dapat digambarkan sebagai suatu kelereng yang ditembakkan pada sebuah kelereng lain yang bebas dan diam. Akibat tumbukan yang terjadi, maka kelereng yang ditembakkan akan menyerahkan sebagian tenaganya pada kelereng yang diam, kemudian kelereng tersebut akan terhambur ke arah lain dengan tenaga yang berkurang dari tenaga semula. Kelereng yang diam akan bergerak ke depan karena menerima tenaga dari luar. Demikian pula yang terjadi dengan elektron yang mula-mula bebas dan diam (stasioner) itu akan terlempar ke depan dan keluar dari sistem atom. Tumbukan dalam *hamburan Compton* ini dapat dianggap sebagai tumbukan elastis. Elektron yang dilepas disebut sebagai *elektron Compton*. Tenaga sinar γ yang terhambur setelah tumbukan merupakan fungsi tenaga γ mula-mula dan \angle hamburan.

$$E_{\gamma} = \frac{E_0}{1 + (E_0/m_0c^2)(1 - \cos\theta)} \quad (\text{II.2.2})$$

dimana : E_{γ} = tenaga sinar yang terhambur.

E_0 = tenaga sinar mula-mula.

m_0 = massa diam elektron.

c = laju cahaya dalam hampa.

θ = sudut hamburan.

Berdasarkan hukum kekekalan tenaga, besarnya tenaga *elektron Compton* E_e adalah selisih antara tenaga sinar γ mula-mula dengan sinar γ yang terhambur :

$$E_e = E_0 - E_\gamma$$

Jika E_γ disubstitusikan dari persamaan (II.2.2) maka :

$$E_e = E_0 \left[\frac{(E_0/m_0c^2)(1-\cos\theta)}{1+(E_0/m_0c^2)(1-\cos\theta)} \right] \quad (\text{II.2.3})$$

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

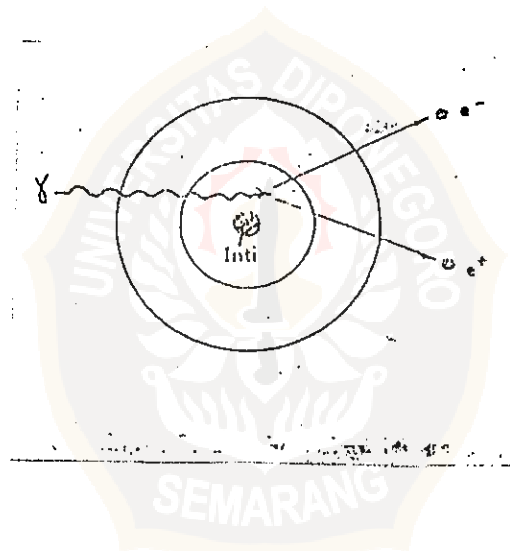
$$E_{e(\max)} = \frac{E_0}{1+m_0c^2/2E_0} \quad (\text{II.2.4})$$

Karena E_γ bervariasi antara suatu harga minimum untuk $\theta=180^\circ$ dan maksimum $\theta=0^\circ$ (pers.II.2.2), maka spektrum tenaga *elektron Compton* akan terbentang dari tenaga nol sampai suatu tenaga maksimum yang sedikit lebih kecil daripada tenaga foton mula-mula (pers.II.2.4).

Dalam peristiwa *hamburan Compton* ini terjadi gejala serapan dan difusi/hamburan. Pada daerah tenaga $\gamma \pm 1,6$ MeV, kedua gejala ini mempunyai kebolehjadian yang sama

untuk terjadi. Pada daerah tenaga $\gamma > 1,6 \text{ MeV}$, gejala serapan semakin dominan, pada daerah tenaga $\gamma < 1,6 \text{ MeV}$ gejala hamburan lebih dominan. Sehingga fraksi tenaga yang hilang dari foton γ bertenaga rendah, cukup kecil karena hamburan yang terjadi hampir merupakan tumbukan kenyal. Tetapi kehilangan tenaga itu semakin besar dengan naiknya tenaga sinar γ .

II.2.3. PEMBENTUKAN PASANGAN



Gambar II.3. *Peristiwa pembentukan pasangan*

Efek pembentukan pasangan terjadi apabila suatu foton γ bertenaga cukup tinggi melalui medan listrik yang sangat kuat di sekitar inti atom (medan coulomb inti),

maka foton tersebut akan lenyap dan sebagai gantinya muncul pasangan elektron (e^-) dan positron (e^+).

Pembentukan antimateri positron dapat dipandang sebagai pemancaran sebuah elektron dari suatu tingkat tenaga negatif menuju ke suatu tingkat tenaga positif dengan meninggalkan lowongan pada daerah yang biasa diisi oleh tingkat tenaga negatif. Lowongan ini adalah positron. Peristiwa *pembentukan pasangan* ini harus memenuhi hukum kekekalan massa dan tenaga, kekekalan muatan listrik dan kekekalan momentum.

Massa elektron dan positron masing-masing setara dengan tenaga sebesar 0,511 MeV, yang dapat dihitung melalui rumus kesetaraan massa dan tenaga *Einstein* :

$$E = mc^2$$

Sehingga efek *pembentukan pasangan* akan terjadi jika tenaga sinar γ yang berinteraksi $> 2 \times 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$. Apabila tenaga sinar γ mula-mula adalah E_0 MeV, maka kelebihan tenaga sebesar $(E_0 - 1,022)$ MeV akan dibagikan diantara elektron dan positron dalam bentuk tenaga gerak, dengan memenuhi persamaan :

$$E_0 = 2 m_0 c^2 + E_{K^+} + E_{K^-} \quad (\text{II.2.5})$$

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

Positron adalah zarah yang tidak stabil dan berumur sangat pendek, sehingga setelah terbentuk segera bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya. Massa kedua zarah diubah menjadi 2 buah foton yang masing-masing bertenaga 0,511 MeV dan dipancarkan pada arah bertolak belakang 180° satu dengan lainnya. Peristiwa ini dinamakan dengan *proses anihilasi* (pemusnahan).

II.2.4. GABUNGAN KETIGA EFEK

Suatu berkas sinar γ yang melalui materi akan berinteraksi dengan materi akan berinteraksi dengan materi itu melalui ketiga efek tersebut (*efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan*) dan akan mengalami penurunan intensitas (*teratenuasi*). Besaran yang dipakai untuk menyatakan besarnya atenuasi yang dialami oleh seberkas sinar γ disebut *koefisien atenuasi* dan diberi lambang μ .

Apabila cacah foton mula-mula adalah n_0 , maka setelah melalui materi setebal dx , cacah foton akan

berkurang sebanyak :

$$\frac{dn}{n_0} = -\mu dx \quad (\text{II.2.6})$$

jika pers.(II.2.6) diintegrasikan :

$$\int \frac{dn}{n_0} = -\int \mu dx$$
$$n = n_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (\text{II.2.7})$$

μ = koefisien atenuasi linier (cm^{-1}).

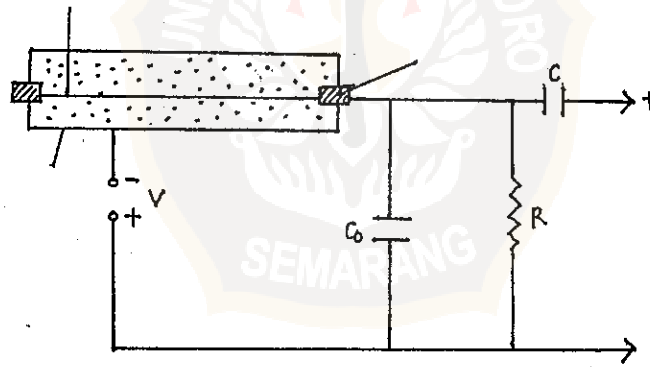
II.3. DETEKTOR NUKLIR

Detektor merupakan bagian terdepan dalam sistem alat ukur radiasi, yang mengkonversikan besaran radiasi menjadi pulsa listrik. Interaksi radiasi terjadi dalam detektor. Dari semua efek interaksi radiasi α , β , γ terhadap materi umumnya menghasilkan arus elektron dan pancaran cahaya. Jumlah elektron yang dihasilkan bergantung pada tenaga radiasi dan jenis bahan. Jenis bahan yang mempunyai tenaga ikat elektron rendah akan menghasilkan jumlah elektron yang besar (mempunyai efisiensi yang besar). Arus elektron ini selanjutnya dapat dijadikan pulsa listrik.

Pada umumnya detektor radiasi dapat dibagi dalam 3 golongan, yaitu detektor isian gas, detektor sintilasi dan detektor semikonduktor.

II.3.1. DETEKTOR ISIAN GAS

Merupakan jenis tertua dan tidak dipakai dalam spektrometri γ . Terdiri dari sebuah tabung berdinding logam yang diisi dengan gas dan mempunyai kawat di tengahnya. Dinding tersebut merangkap sebagai katoda, sedang kawat yang di tengah sebagai anoda. Jika dikenakan suatu tegangan sebesar V antara katoda dan anoda melalui tahanan luar R , maka akan timbul medan listrik dalam tabung yang berisi gas itu. Kapasitas elektroda dan seluruh sistem adalah C_0 .



Gambar II.4.

Detektor isian gas

Apabila sinar γ melalui gas dalam tabung detektor, maka sinar γ akan berinteraksi dengan atom-atom gas melalui proses fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan. Interaksi tersebut menghasilkan elektron bebas dan ion positif. Apabila tidak ada medan listrik, elektron akan bergabung kembali dengan ion positif, tetapi jika ada medan listrik, elektron akan bergerak menuju kawat anoda dan ion positif menuju katoda. Biasanya elektron bergerak dengan laju yang lebih tinggi daripada ion positif. Sehingga pada anoda (elektroda positif) akan terkumpul muatan negatif sebesar Q yang akan menimbulkan pulsa listrik.

Yang termasuk dalam detektor isian gas adalah detektor kamar ionisasi, detektor proporsional dan tabung Geiger Muller (GM).

II.3.2. DETEKTOR SINTILASI

Merupakan jenis yang lebih baru dibanding detektor gas isian. Menggunakan dasar efek sintilasi (kelipan) bila bahan sintilator dikenai suatu radiasi nuklir. Proses sintilasi terjadi bila atom detektor tereksitasi diikuti deeksitasi sambil memancarkan foton cahaya. Pemilihan bahan yang dipakai untuk detektor disesuaikan dengan jenis radiasi yang dideteksi, yaitu efisiensi dan

resolusi tenaga. Untuk radiasi α digunakan bahan ZnS(Ag) dan CsI(Tl), radiasi β digunakan bahan jenis plastik, organik (antrasin), jenis cairan sedang untuk radiasi γ dipakai bahan NaI(Tl) dan plastik.

Bahan sintilator ini kemudian disambung dengan tabung pengganda elektron (*PMT = photomultiplier tube*), dimana fungsi dari *PMT* ini adalah untuk mengubah sinyal cahaya menjadi sinyal listrik.

II.3.3. DETEKTOR SEMIKONDUKTOR

Bahan semikonduktor mempunyai sifat setengah penghantar arus listrik. Hal ini berkaitan dengan keadaan ikatan elektron bagian luar dari atom dan susunan dalam bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor utama yang biasa digunakan untuk detektor nuklir adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge), masing-masing dalam bentuk kristal. Ikatan antar atom dalam kristal adalah seperti intan, 1 atom dikelilingi oleh 4 atom membentuk bangun tetrahedron.

Apabila bahan semikonduktor Si dan Ge berbentuk kristal mendekati murni dikenai radiasi nuklir, mudah terjadi pelepasan elektron dari ikatan atom, membentuk pasangan elektron dan lowong (*hole*). Jumlah elektron yang dihasilkan sebanding dengan tenaga radiasi nuklir karena

tenaga yang diperlukan untuk melepaskan elektron (sesuai dengan tenaga ikatnya) untuk bahan semikonduktor adalah cukup rendah dan bersifat homogen.

Yang termasuk dalam detektor semikonduktor adalah detektor sawar muka (*surface barrier*) yang peka terhadap radiasi α dan β , detektor Si(Li) yang peka terhadap radiasi β , detektor Ge(Li) yang dapat dipakai untuk spektrometri γ dan detektor Ge murni yang bisa dipakai untuk deteksi radiasi sinar γ .

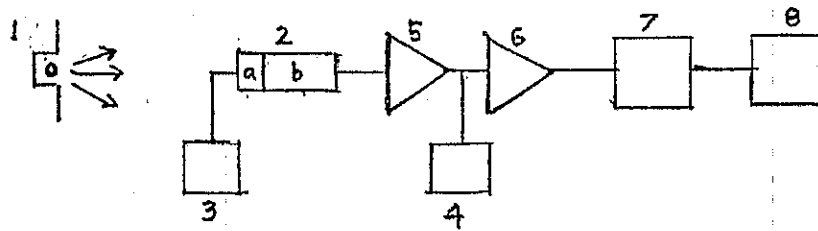
II.4. INSTRUMENTASI ELEKTRONIKA NUKLIR

Untuk pemrosesan, pengolahan serta penampilan data-data yang berasal dari detektor nuklir digunakan peralatan ukur elektronik, baik dengan sistem analog maupun digital. Pulsa-pulsa yang dihasilkan oleh berbagai jenis detektor berbeda bentuk, tinggi pulsa (volt) dan lebar (duration). Sedangkan untuk menentukan karakteristik umur dari suatu sumber radiasi (fluks radiasi, energi radiasi dan timing) diperlukan serangkaian elektronik yang sistemnya tergantung pada jenis dan tipe detektor, besaran yang hendak diukur dan ketelitian pengukuran (low level, resolusi, efisiensi).

Yang termasuk dalam instrumentasi elektronika nuklir adalah penguat awal, penguat utama, penganalisa tinggi pulsa (*SCA/MCA*), pencacah dan pewaktu.

II.5. PENCACAH γ

II.5.1. DIAGRAM BLOK



Gambar II.5

Gambar II.5. merupakan diagram blok dari pencacah radiasi γ dengan menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) dan SCA sebagai penganalisa tinggi pulsanya.

1. Sumber radiasi γ .
2. Detektor sintilasi : a. kristal NaI(Tl),
b. *PMT*.
3. Sumber tegangan tinggi (HV).
4. Power supply.
5. Penguat awal (*pre amplifier*).
6. Penguat utama (*main amplifier*).
7. SCA
8. Counter dan timer.

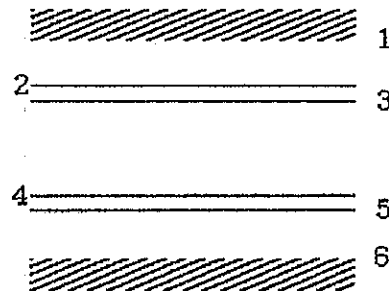
II.5.2. DETEKTOR SINTILASI NaI(Tl)

Zat radioaktif pemancar γ pada umumnya memancarkan sinar γ dengan tenaga yang karakteristik sehingga apabila dideteksi atau dicacah dengan suatu detektor, akan didapat suatu spektrum yang khas. Detektor yang dapat membedakan tenaga sinar γ yang dipancarkan adalah detektor sintilasi NaI(Tl) dan detektor Ge(Li). Detektor Ge(Li) ini mempunyai resolusi yang lebih baik daripada detektor sintilasi NaI(Tl), tetapi detektor ini harus disimpan dalam nitrogen cair dan relatif lebih mahal. Selain itu efisiensinya lebih rendah, sehingga detektor sintilasi NaI(Tl) lebih sering digunakan dalam pencacah radiasi γ atau spektrometri γ .

Bahan sintilator dari detektor ini berupa kristal tunggal *natrium iodida* yang telah dikotori dengan sedikit *talium*. Karena kristal NaI bersifat higroskopis maka ditutup rapat dalam wadah aluminium yang dilapisi dengan kromium. Kemudian dibungkus dengan reflektor MgO (*mangan oksida*) dan direkatkan pada tabung pengganda elektron (*photomultiplier tube = PMT*) dengan minyak silikon yang berfungsi untuk menghilangkan pantulan total oleh dinding *PMT*.

Proses sintilasinya :

Ditinjau tingkat-tingkat tenaga (pita-pita tenaga) atom sintilasinya.



Gambar II.6. pita-pita (tingkat-tingkat tenaga)

1. Pita konduksi.
2. Pita eksitasi.
3. Tingkat jebakan.
4. Tingkat eksitasi aktivator.
5. Tingkat dasar aktivator.
6. Pita valensi.

Celah tenaga antara pita valensi dan pita konduksi cukup besar, begitu juga pita eksitasi. Sehingga kebolehdjian berpindahya elektron ke pita konduksi atau pita eksitasi sangat kecil, demikian proses sintilasinya. Dengan adanya aktivator (T1), celah tenaga dasar dan eksitasinya menjadi kecil sehingga proses sintilasinya menjadi lebih mudah.

maka fotoelektron tadi akan dipercepat menuju dinoda pertama dan terpancarlah beberapa elektron yang selanjutnya dipercepat menuju dinoda kedua yang akan menghasilkan lebih banyak elektron. Demikian seterusnya, sampai semua elektron terkumpul dan menghasilkan pulsa listrik. Anoda merupakan dinoda yang terakhir. Tinggi pulsa yang dihasilkan sebanding dengan banyaknya elektron yang terkumpul di anoda, sebanding dengan banyaknya fotoelektron. Banyaknya fotoelektron sebanding dengan intensitas cahaya hasil sintilasi yang sebanding dengan tenaga radiasi.

II.5.3. SUMBER TEGANGAN

Ada 2 macam sumber tegangan yang diperlukan dalam perangkat deteksi radiasi nuklir. Sumber tegangan untuk detektor adalah *high voltage power supply* atau biasa disebut *high voltage (HV)* yang merupakan tegangan tinggi. Besarnya tergantung dari karakteristik detektornya. Untuk detektor sintilasi NaI(Tl) tegangan kerjanya sekitar 800 volt.

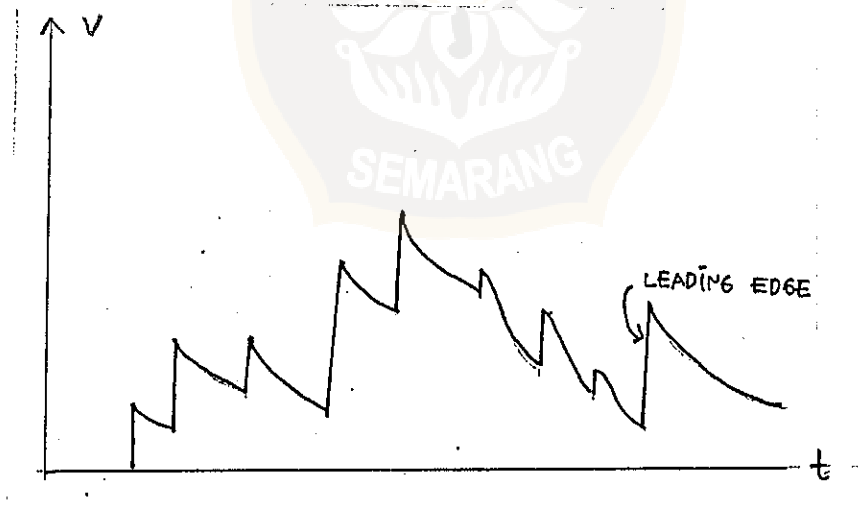
Sumber tegangan yang kedua adalah *power supply* yaitu sumber tegangan untuk perangkat elektronika dalam sistem deteksi radiasi nuklir seperti penguat, penganalisa tinggi pulsa, pencacah dan pewaktu. Standard tegangan yang harus tersedia dan telah disepakati yaitu -6 volt, +6 volt, -12 volt, +12 volt, -24 volt dan +24 volt.

II.5.4. PENGUAT PULSA

A. PENGUAT AWAL (*PRE AMPLIFIER*)

Penguat awal terletak diantara detektor dan penguat utama, yang harus dipasang sedekat mungkin dengan detektor. Hal ini untuk menghindari terbangkitnya derau pada hantaran, karena pulsa yang masuk pada bagian ini lemah sekali. Fungsi utama penguat awal adalah sebagai penyesuai impedansi antara detektor (*high impedance*) dengan rangkaian penguat (*low impedance*). Penyesuai impedansi ini penting untuk mencegah terjadinya kehilangan informasi dalam pulsa keluaran detektor pada waktu masuk ke penguat utama.

Ada 2 jenis penguat awal yaitu peka tegangan dan peka muatan. Karena penguat disini digandeng dengan detektor sintilator NaI(Tl), maka penguat awal yang dipakai merupakan penguat awal peka tegangan.



Gambar II.8 Bentuk pulsa keluaran penguat awal.

Seluruh informasi yang penting dari pulsa terletak pada bagian *leading edge*.

B. PENGUAT UTAMA (*MAIN AMPLIFIER*)

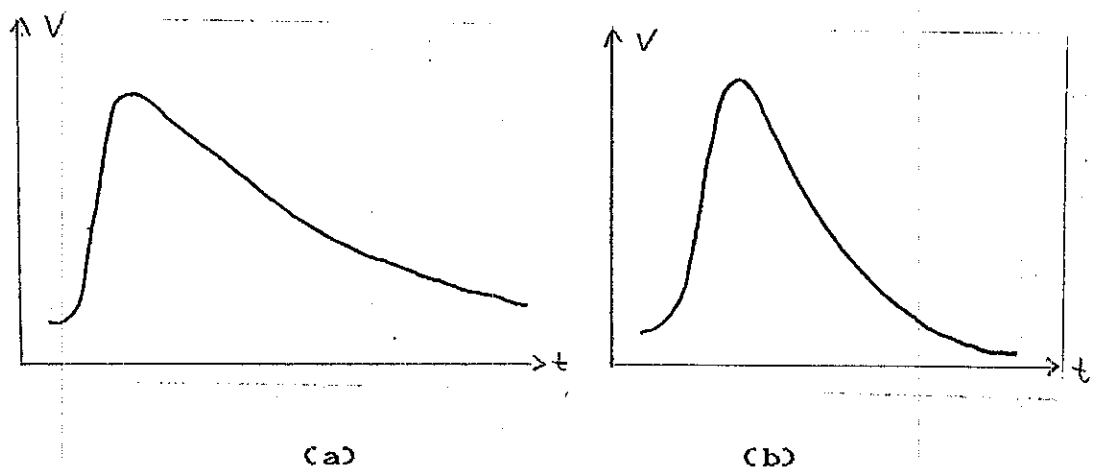
Keluaran dari penguat utama berupa pulsa yang tingginya dalam orde beberapa milivolt, dimana tinggi tersebut berbanding lurus dengan tenaga radiasi yang tercacah. Agar pulsa ini dapat dianalisa berdasar tingginya dengan daya urai yang memadai, maka perlu diperkuat kembali sampai keluarannya dalam orde beberapa volt.

Penguat ini merupakan penguat linier yang dilengkapi dengan pengubahan penguatan (*gain*) secara diskrit maupun kontinu serta pemilihan polaritas masukan untuk dapat dipakai menurut keperluan tergantung instrumen berikutnya.

C. PEMBENTUKAN PULSA (*PULSE SHAPING*)

Pada detektor sintilasi ada 2 faktor yang mempengaruhi bentuk pulsa keluarannya yaitu waktu peluruhan sintilasi τ_{ps} dan tetapan waktu dari rangkaian anoda τ_a . Dimana τ_{ps} adalah waktu kelipan cahaya (*luminisens*) pada kristal NaI(Tl) ditambah waktu sebaran dan waktu transit elektron pada PMT untuk setiap kali kejadian radiasi dimana ketiga waktu tersebut terjadi serempak dan saling tumpang tindih yang secara

keseluruhan besarnya dalam orde beberapa nanodetik.

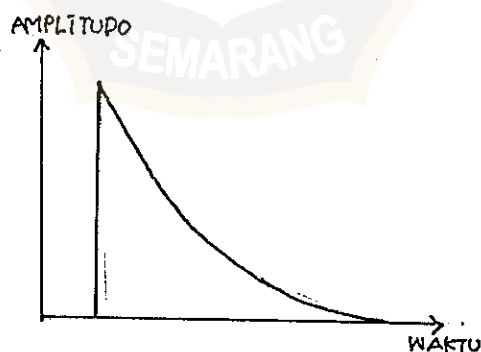


Gambar II.9 Bentuk-bentuk pulsa keluaran detektor sintilasi NaI(Tl).

a. $\tau_{ps} \ll \tau_a$

b. $\tau_{ps} < \tau_a$, tetapi perbedaannya tidak terlalu besar.

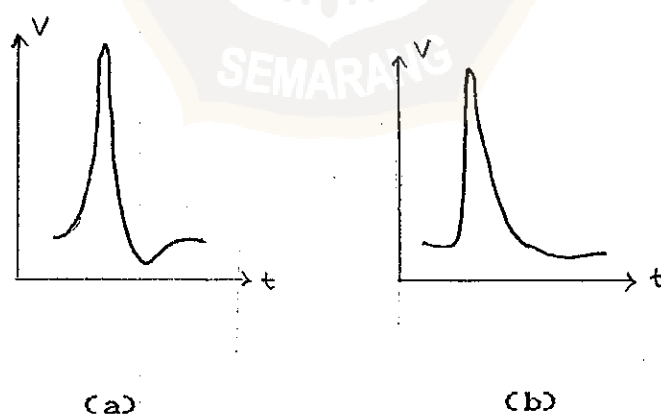
Pulsa keluaran dari detektor adalah pulsa dengan *rise time* yang sangat singkat tetapi akan turun perlahan. Untuk naik dari 10% - 90% dari tinggi amplitudo diperlukan waktu 60 - 100 μs . Pulsa semacam ini disebut dengan pulsa ekor (*ran pulse*).



Gambar II.10 ran pulse

Bentuk pulsa yang paling cocok untuk dianalisa berdasarkan tingginya adalah bentuk *gaussian*, dimana *rise time* dan *fall time* adalah sama sehingga bentuk pulsa terlihat simetri. Bentuk pulsa dengan lebar $0,5 \mu s$ dalam bentuk *gaussian* cukup mempunyai daya urai yang baik, karena peluang pulsa untuk tumpang tindih relatif kecil.

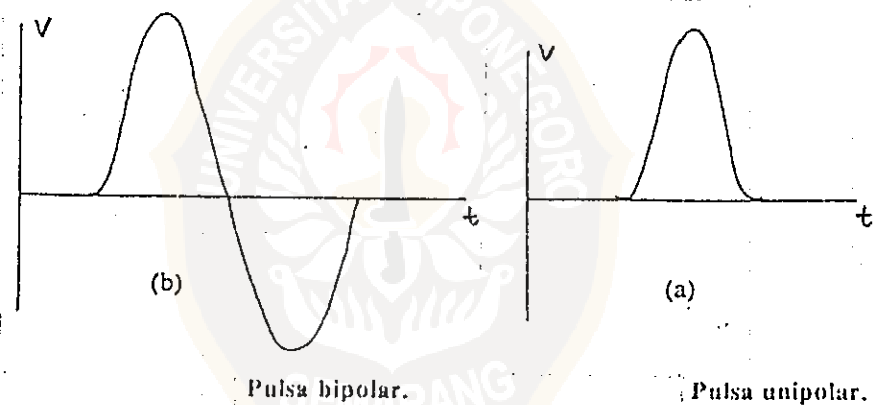
Karena bentuk *gaussian* sulit didapat, maka dipakai pendekatan saja. Bentuk hampir *gaussian* didapat jika $\tau_{ps} < \tau_a$. Untuk mendapatkan pulsa yang simetri diperlukan rangkaian diferensiator dan integrator. Pulsa yang dideferensialkan dengan sederhana yang tetapan waktunya tidak cocok biasanya menimbulkan *undershoot* pada bagian ekornya, hal ini akan mengurangi daya urai tenaga apabila laju cacahan pulsa cukup tinggi. Untuk menghindari pengaruh buruk ini, diferensiator dilengkapi dengan penghapus *pole* dan *zero*.



Gambar II. 10

- a. Bentuk pulsa keluaran dengan undershoot.
- b. Bentuk pulsa keluaran dari rangkaian diferensiator yang dilengkapi dengan penghapus *pole* dan *zero*.

Rangkaian diferensiator merupakan peredam frekuensi rendah sehingga cenderung memperkuat derau, sedang rangkaian integrator merupakan peredam frekuensi tinggi sehingga cenderung menahan derau. Maka supaya semua derau terhambat, frekuensi batas kedua rangkaian harus sama dan terbentuk pulsa simetri dengan lebar $1\mu\text{s}$. Keluaran dari penguat merupakan pulsa *bipolar* dan *unipolar*, tergantung dari detektor yang dipakai. Pada pemakaian detektor sintilator NaI(Tl) keluaran dari penguat merupakan pulsa *bipolar*.



Gambar II.11 pulsa bipolar dan unipolar

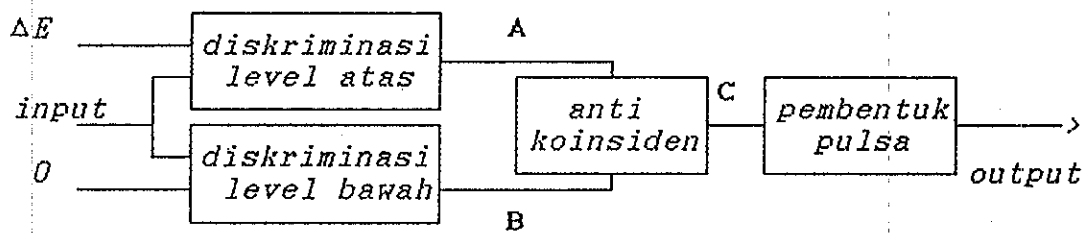
II.5.5. PENGANALISIS TINGGI PULSA

Dalam suatu sistem pencacah γ atau spektroskopi γ , resolusinya terutama ditentukan oleh detektornya sendiri.

Tetapi supaya resolusi dari sistem keseluruhan tidak lebih buruk dari resolusi detektornya maka perlu didukung oleh solusi yang lebih tinggi dari masing-masing sub sistemnya. Salah satu sub sistem yang memegang peranan penting yaitu penganalisa tinggi pulsa dalam hal ini SCA (*Single Channel Analyzer* = penganalisa saluran tunggal).

Pulsa keluaran dari penguat yang berasal dari bahan radioaktif/isotop berupa pulsa-pulsa yang tingginya tidak seragam dan berbeda untuk tiap isotop. Bila pulsa tersebut dianalisa maka didapat suatu spektrum tinggi pulsa yang berlainan untuk setiap isotop. Karena tinggi pulsa tersebut berbanding lurus dengan tenaga radiasi yang bersangkutan, maka spektrum tinggi pulsa tadi akan sebangun spektrum tenaga radiasinya dengan puncak pada tenaga tertentu sesuai dengan skema peluruhannya. Dengan penganalisis ini maka pulsa-pulsa tertentu dapat dibedakan dan dipilih berdasarkan tingginya yang setara dengan tenaganya.

Pulsa keluaran dari penguat dengan amplitudo 0-10 volt siap dianalisa tinggi pulsanya. Apabila untuk tujuan spektrokopi waktu bisa dipakai TSCA yang prinsipnya kerjanya sama dengan SCA, yang digunakan pada spektroskopi tenaga.

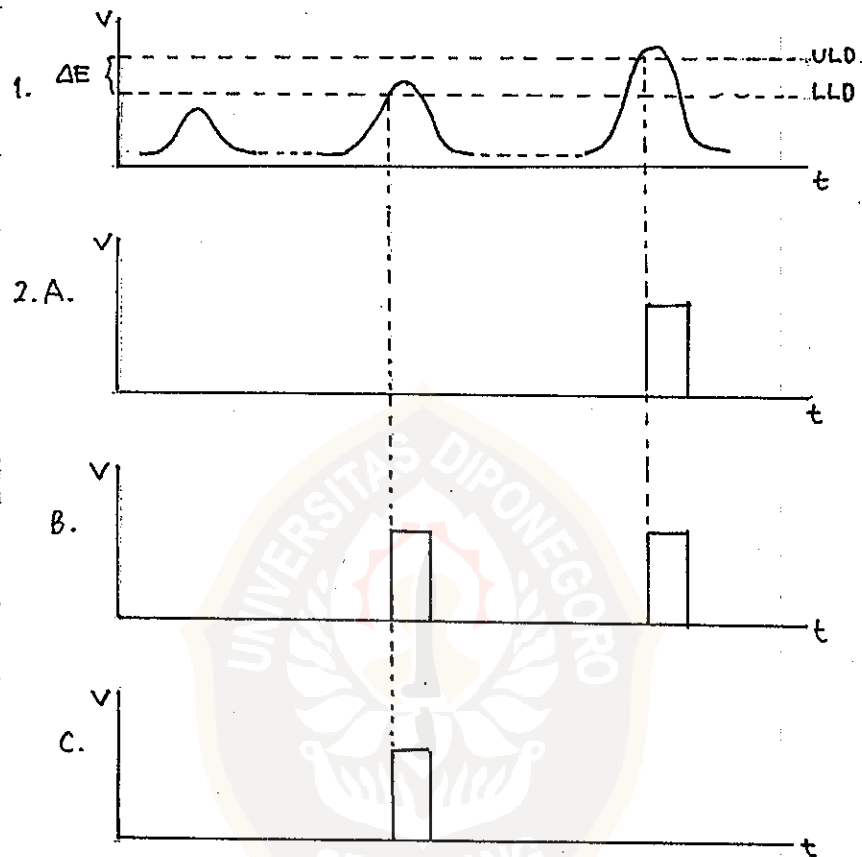


Gambar II.12 Blok diagram Single Channel Analyzer

Pada prinsipnya penganalisa ini terdiri atas 2 buah diskriminator yang mempunyai batas ambang yang berbeda. Ambang bawah adalah nol (level tanah / *ground*), sedangkan level atas sebesar ΔE yang dapat diatur dengan besar dari nol sampai 20% dari harga E , dimana ΔE disebut lebar jendela (*window*).

Jika puncak pulsa terdapat diantara kedua ambang atau pada jendela tadi, maka keluaran antikoinciden naik dari 0 ke 1 dan transisi ini digunakan untuk memicu monostabil sebagai pembentuk pulsa untuk mengeluarkan pulsa segiempat dengan lebar $0,5 \mu s$ tinggi 5 volt. Agar puncak-puncak pulsa terdapat pada jendela, maka garis dasar dari pulsa yang dianalisa harus diatur atau digeser ke arah negatif sampai muncul pulsa keluaran sebagai hasil analisa pembentuk pulsa. Besarnya pergeseran garis dasar tadi yaitu sebesar E , hampir sama dengan tinggi pulsanya yang kemudian dikalibrasi terhadap energi pulsa yang bersangkutan. Pergeseran garis dasar ini dengan mengatur level diskriminator. Diskriminator ini mempunyai fungsi meneruskan semua pulsa yang lebih tinggi dari

suatu aras/level tertentu sedang pulsa yang lebih rendah dari aras tersebut dihentikan.



Gambar II.13

Keterangan :

1. Pulsa masukan SCA.
2. A. Pulsa keluaran diskriminator level atas.
B. Pulsa keluaran diskriminator level bawah.
C. Pulsa keluaran dari gerbang antikoinsiden

Tabel kebenarannya :

Masukan B	Masukan A	Keluaran C
0	0	0
1	0	1
1	1	0
0	1	1

Untuk masukan A = 0, masukan B = 1, masukan C = 1 tidak mungkin terjadi.

1. Pulsa yang lebih rendah dari aras atas dan lebih rendah dari aras bawah tidak akan diteruskan oleh kedua diskriminator. Jadi keluaran dari antikoinsiden adalah nol (keluaran dari SCA = 0).
2. Pulsa yang lebih rendah dari aras atas, tetapi lebih tinggi dari aras bawah akan diteruskan oleh diskriminator level bawah dan dihentikan oleh diskriminator aras atas. Jadi keluaran dari SCA adalah satu.
3. Pulsa yang lebih tinggi dari aras atas akan diteruskan oleh kedua diskriminator. Jadi keluaran dari SCA adalah nol.

Apabila akan dihitung cacah pulsa yang tingginya V volt, maka lebar jendela sebesar ΔV volt diletakkan pada posisi sekitar V volt. Sehingga yang tercacah adalah pulsa yang terletak di antara $V + \frac{1}{2} \Delta V$ dan $V - \frac{1}{2} \Delta V$. Karena SCA hanya dapat menganalisa pulsa dari 0 sampai 10V, maka tinggi pulsa masukan SCA tidak boleh lebih dari 10 volt.

II.5.6. COUNTER / TIMER

Pulsa-pulsa yang diteruskan oleh penganalisa saluran tunggal diteruskan pada alat cacah yang merupakan gabungan antara *counter* dan *timer*. Alat ini menghitung semua pulsa yang dikeluarkan oleh SCA dalam jangka waktu yang telah ditetapkan sebelumnya (reset). Karena kadang-kadang dikehendaki preset cacah bukan preset waktu, sehingga tombol preset dalam alat cacah biasanya dapat digunakan untuk waktu maupun cacah.

Counter / timer yang digunakan dalam pencacah γ ini dilengkapi dengan pengontrol mikro dari keluarga MCS-51. Sistem ini bekerja dengan bantuan program pada EPROMnya. Yang semuanya berfungsi sebagai rangkaian pengendali.

Sebagai penentu lamanya pencacahan, digunakan timer elektronik yang secara otomatis akan membuka gerbang bila tombol start ditekan dan menutup gerbang bila tombol stop ditekan atau waktu lamanya pencacahan telah selesai.