

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1. Radioaktivitas

Radioaktivitas didefinisikan sebagai gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan disertai radiasi berupa zarah dan atau gelombang elektromagnet.

Perubahan dalam inti atom tentu saja membawa perubahan dari satu nuklida menjadi nuklida yang lain atau dari satu unsur menjadi unsur yang lain. Peristiwa perubahan inti menjadi inti atom yang lain ini disebut *desintegrasi inti* atau *peluruhan radioaktif*.

Laju desintegrasi suatu Radionuklida dengan Radionuklida yang lain adalah berbeda dan masing-masing mempunyai karakteristik yang tertentu pula.<sup>(11)</sup>

#### II.2. Aktivitas

Cacah atom suatu radionuklida bukanlah besaran yang dapat langsung diukur. Oleh sebab itu didefinisikan suatu besaran yang dapat langsung diukur, yaitu aktivitas. Aktivitas suatu radionuklida pada saat  $t$  adalah cacah desintegrasi persatuan waktu yang terjadi pada saat  $t$  tersebut atau dinyatakan :

$$A_t = - \frac{dN_t}{dt}$$

$$A_t = \lambda N_t \quad (2.1)$$

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

dimana  $N_t$  = cacah desintegrasi

Aktivitas dari suatu radionuklida mempunyai satuan Curie (Ci) yang dapat didefinisikan sebagai besaran dari suatu bahan radioaktif dengan banyaknya desintegrasi per detik adalah  $3,7 \times 10^{10}$ .

Disamping satuan Curie secara internasional disepakati pula satuan Becquerel (Bq). Satu Becquerel didefinisikan sebagai satu desintegrasi inti per sekon (dps). Sehingga  $1 \text{ Curie} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ .

### II.3. Waktu Paruh

Laju peluruhan suatu radionuklida biasanya dinyatakan secara karakteristik dengan suatu tetapan yang disebut waktu paruh.

Waktu (umur) paruh adalah waktu yang diperlukan agar cacah atom radionuklida menjadi setengah cacah atom semula. Dari definisi tersebut maka diperoleh suatu hubungan antara banyaknya radioisotop sebelum dan sesudah  $n$  kali waktu paruh sebagai berikut :

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2^n} \quad (2.3)$$

dimana  $A_0$  adalah banyaknya aktifitas mula-mula. Dan  $A$  adalah aktifitas setelah mengalami  $n$  kali waktu paruh.

Hubungan antara umur paruh ( $T_{1/2}$ ) dan konstanta peluruhan  $\lambda$  adalah :

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

$$-\lambda T_{1/2} = \ln \frac{1}{2}$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.4)$$

#### II.4. Sinar Gamma

Dalam peristiwa peluruhan zat Radioaktif setelah inti memancarkan zarah  $\beta^+$ ,  $\beta^-$ ,  $\alpha$  atau setelah tangkapan elektron, inti atom akan berada dalam keadaan ter-eksitasi. Inti ini segera akan menuju ke keadaan dasar dengan jalan memancarkan radiasi elektromagnetik yang disebut sebagai sinar  $\gamma$ .

Sinar  $\gamma$  merupakan foton, kuantum energi elektromagnetik yang tidak bermassa dan tidak bermuatan dan bergerak dengan kecepatan cahaya pada ruang hampa. Sedangkan spektrum energi Gamma adalah diskrit.

#### II.5. Interaksi Radiasi Gamma dengan Materi

Dasar dari suatu sistem pencacah radiasi adalah adanya interaksi antara radiasi yang dipancarkan dari suatu sumber radiasi dengan detektor radiasi. Setiap jenis radiasi mempunyai perilaku atau mekanisme yang berbeda dalam berinteraksi dengan materi, akan tetapi pada dasarnya adalah sama, yaitu adanya transfer energi

dari radiasi pada atom-atom dari materi yang berinteraksi dengan radiasi tersebut.

Radiasi  $\gamma$  tidak bermassa dan bermuatan, maka tidak ada interaksi dengan medan listrik. Bila radiasi  $\gamma$  mengenai bahan, foton  $\gamma$  akan berinteraksi langsung dengan elektron atau inti. Jenis interaksinya ada 3 peristiwa, yaitu : <sup>(1,11,12)</sup>

### II.5.1 Efek Fotolistrik

Interaksi antara foton  $\gamma$  dengan elektron yang terikat kuat pada kulit K atau L elektron akan menyerap hampir seluruh energi  $\gamma$  (karena energi ikat elektron jauh lebih kecil daripada energi  $\gamma$ ) dan akibatnya elektron akan terpancar keluar dengan tenaga gerak sebesar :

$$E_k = h\nu - E_b \quad (2.5)$$

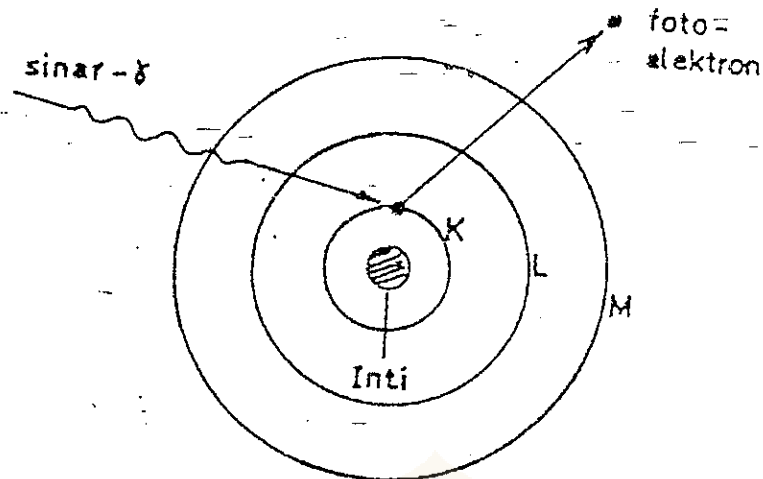
dengan  $E_k$  = energi kinetik elektron

$h\nu$  = energi foton  $\gamma$  yang menumbuk

$E_b$  = energi ikat elektron

Elektron yang dipancarkan itu disebut *fotoelektron*.

Secara skematis proses terjadinya efek fotolistrik dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 1 (12)  
EFEK FOTOLISTRIK

Kebolehjadian bagi suatu foton  $\gamma$  yang bertenaga  $E_\gamma$  berinteraksi melalui efek fotolistrik dinyatakan dalam suatu besaran yang disebut *tampang* efek fotolistrik, biasanya diberi lambang  $\tau$  dan besarnya adalah :

$$\tau = \frac{Z^5}{E_\gamma^{7/2}} \quad (2.6)$$

$C$  = tetapan

$Z$  = nomor atom materi sasaran

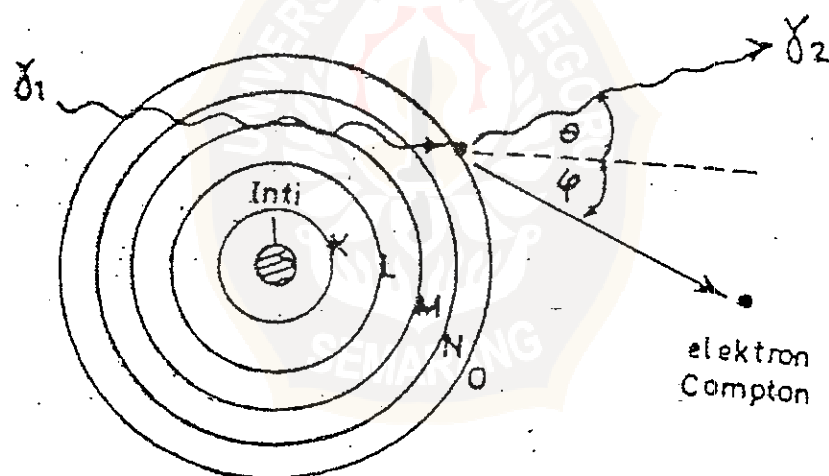
$E_\gamma$  = tenaga sinar  $\gamma$

Kebolehjadian terjadinya efek fotolistrik turun dengan cepat dengan kenaikan tenaga sinar  $\gamma$  sehingga

efek fotolistrik dominan pada daerah tenaga rendah.

### II.5.2 Efek Compton

Efek Compton sering disebut juga hamburan Compton, adalah suatu proses yang terjadi apabila foton  $\gamma$  bertumbukan dengan elektron bebas atau elektron yang terikat lemah (berada pada kulit terluar). Atom yang ditembakkan akan menyerahkan sebagian tenaganya pada atom yang diam. Kemudian terhambur ke arah lain dengan tenaga yang sudah berkurang. Secara skematis hamburan Compton dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 2 (12)  
EFEK COMPTON

Foton  $\gamma$  datang ( $\gamma_1$ ) akan menumbuk elektron bebas tersebut dan terbentuk foton  $\gamma_2$  dengan tenaga yang sudah

berkurang  $E_{\gamma_2}$  kemudian terhambur membentuk sudut  $\theta$ . Elektron kulit terluar yang terhambur (disebut elektron compton) terhambur membentuk sudut  $\varphi$  dengan energi  $E_c$ .

Hubungan antara energi foton  $\gamma$  datang ( $E_{\gamma_1}$ ) dan energi foton  $\gamma$  terhambur ( $E_{\gamma_2}$ ) dirumuskan : <sup>(12)</sup>

$$E_{\gamma_2} = \frac{E_{\gamma_1}}{1 + (1 - \cos \theta) E_{\gamma_1} / mc^2} \quad (2.7)$$

Energi kinetik elektron compton  $E_c$  adalah :

$$E_c = E_{\gamma_1} - E_{\gamma_2} \quad (2.8)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.7) ke dalam persamaan (2.8) didapatkan :

$$E_c = \frac{(1 - \cos \theta) E_{\gamma_1} / mc^2}{1 + (1 - \cos \theta) E_{\gamma_1} / mc^2} E_{\gamma_1} \quad (2.9)$$

Energi minimum foton  $\gamma$  terhambur terjadi ketika sudut  $\theta = \pi$ . Dan terbentuk energi maximum elektron. Dari persamaan (2.7)

$$E_{\gamma_2} \text{ min} = \frac{E_{\gamma_1}}{1 + 2E_{\gamma_1} / mc^2} \quad (2.10)$$

$$E_c \text{ max} = \frac{2 E_{\gamma_1} / mc^2}{1 + 2 E_{\gamma_1} / mc^2} \quad (2.11)$$

Dari persamaan (2.10) ditunjukkan bahwa energi

minimum dari hamburan compton adalah lebih besar dari nol. Sehingga dalam hamburan compton ini tidak mungkin energi foton  $\gamma$  yang datang akan diberikan kepada elektron seluruhnya.<sup>(12)</sup>

### II.5.3 Pembentukan Pasangan

Apabila suatu foton  $\gamma$  bertenaga cukup tinggi melalui medan listrik yang sangat kuat di sekitar inti atom (medan coulomb inti) maka foton  $\gamma$  tersebut akan lenyap dan sebagai gantinya muncul pasangan elektron dan positron ( $e^-$  dan  $e^+$ ).

Massa elektron dan positron masing-masing setara dengan tenaga sebesar 0,511 MeV dihitung dengan rumus:

$$E = m c^2 \quad (2.12)$$

Sehingga syarat terjadinya produksi pasangan adalah jika tenaga sinar  $\gamma$  yang berinteraksi lebih besar dari  $2 \times 0,511 \text{ MeV} = 1,022 \text{ MeV}$ .

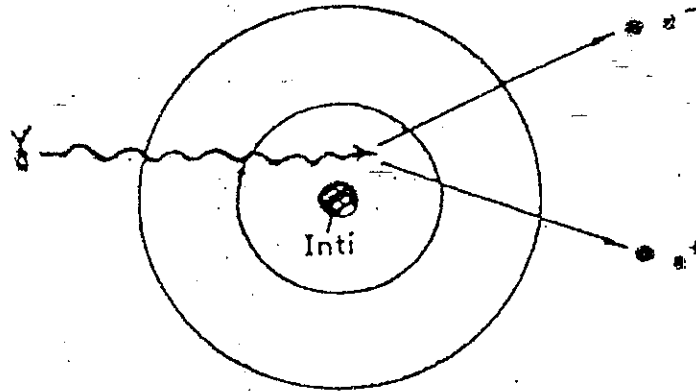
Jika  $E_\gamma$  mula-mula =  $E_0$  MeV maka sisa tenaga sebesar  $(E_0 - 1,022)$  MeV akan dibagikan diantara elektron dan positron dalam bentuk tenaga gerak, yang memenuhi persamaan :

$$E_0 = 2m_0 c^2 + E_k^+ + E_k^- \quad (2.13)$$

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

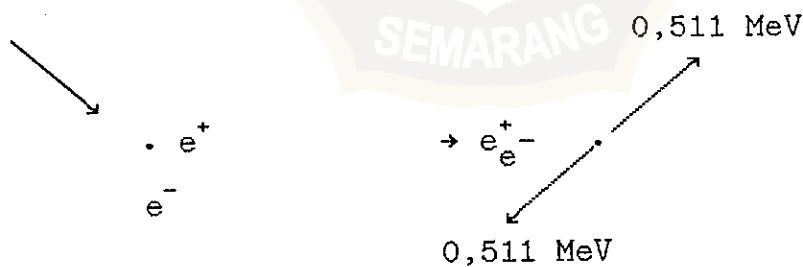


Secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :



GAMBAR 3 (12)  
PRODUKSI PASANGAN

Karena positron adalah zarah yang tidak stabil dan mempunyai umur sangat pendek. Segera setelah terbentuk, positron akan bergabung dengan elektron di sekitarnya setelah menyerahkan tenaga geraknya.



GAMBAR 4  
PROSES ANIHILASI

Massa kedua zarah tersebut diubah menjadi dua buah foton yang masing-masing bertenaga 0,511 MeV dan dipancarkan

pada arah yang bertolak belakang  $180^\circ$  satu terhadap yang lain. Peristiwa ini dinamakan *proses anihilasi*.

Kebolehjadian terjadinya efek pembentukan pasangan sebanding dengan kwadrat nomor atom dan naik dengan naiknya tenaga sinar  $\gamma$ . Kebolehjadian tersebut dinyatakan :

$$K \approx 6 \cdot 10^{10} Z^2 \left( 3 \log \frac{2E_\gamma}{mc^2} - 8 \right) \quad (2.14)$$

K = kebolehjadian terjadinya efek pembentukan pasangan

Z = nomor atom

## II.6 Perangkat Pencacah Gamma

### II.6.1. Sumber Tegangan

Sumber tegangan dalam alat elektronik pencacah gamma dibagi dalam dua bagian. Pertama ialah sumber tegangan yang diperlukan untuk alat-alat elektronik dan kedua ialah sumber tegangan untuk detektor.

Sumber tegangan untuk alat-alat elektronik disebut Low Power Supply (sumber Tegangan Rendah = STR) dan sumber tegangan untuk detektor disebut High Voltage Bias Supply (Sumber Tegangan Tinggi = STT)

### 11.6.2 Detektor

Detektor adalah suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi atau mengetahui suatu besaran fisis. Jadi detektor tidak lain adalah suatu *tranduser* yaitu alat yang bisa mengubah dari suatu besaran ke besaran lainnya.

Dengan demikian detektor radiasi adalah transduser yang mengubah besaran radiasi ke besaran lain (besaran listrik) sehingga bisa diamati dan diukur cacah serta energinya.<sup>(1)</sup>

Fungsi dari detektor adalah menghasilkan sinyal untuk setiap partikel Radioaktif yang datang ke detektor. Setiap detektor bekerja berdasarkan interaksi radiasi dengan materi.<sup>(11)</sup>

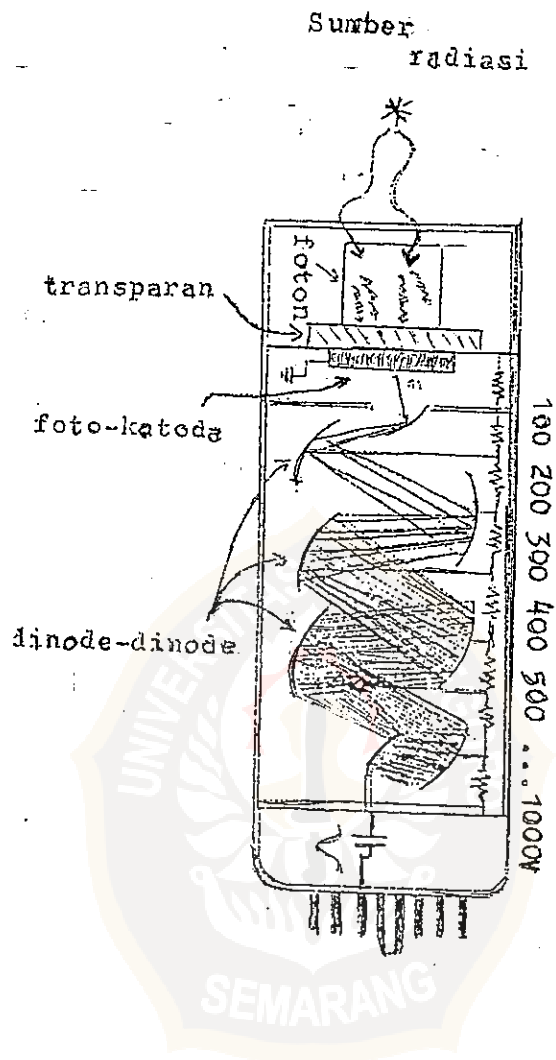
#### 11.6.2.1 Detektor Sintilasi

Detektor sintilasi merupakan suatu transduser yang mengubah radiasi menjadi suatu pendar cahaya. Pendar cahaya ini terjadi bila suatu bahan aktif detektor dilintasi radiasi. Peristiwa pemancaran cahaya ini yang disebut sintilasi sedangkan bahannya disebut sintilator. Dilihat dari jenis bahan pembentuknya sintilator dibedakan menjadi dua macam, yaitu sintilator organik dan sintilator anorganik. Contoh sintilator anorganik adalah NaI(Tl), ZnS(Ag) dan CsI(Tl). Sedangkan sintilator organik digolongkan menjadi jenis cairan dan jenis plastik

#### 11.6.2.2 Mekanisme Kerja Detektor Sintilasi<sup>(12)</sup>

Detektor Sintilasi beroperasi berdasarkan prinsip "eksitasi molekul" yang menimbulkan efek sintilasi

(pendaran) jika suatu bahan dikenai radiasi.



GAMBAR 5

(10)

### SISTEM DETEKTOR SINTILASI DENGAN PMT

Apabila Zat radioaktif mengenai bahan sintilator terjadi proses sintilasi akibat interaksi radiasi dengan atom-atom bahan, terutama proses eksitasi tingkat tenaga atom. Proses eksitasi diikuti oleh proses deeksitasi, yaitu kembalinya tingkat tenaga ke tingkat semula sambil

melepaskan foton-foton cahaya. Bila foton ini dikenakan pada bahan fotocell maka akan terbebaskan elektron - elektron.

Bahan fotocell ditempatkan sebagai fotokatoda dalam tabung pelipat elektron (Photo Multiplier Tube). PMT tersusun atas banyak dinode yang juga diberi bahan fotocell dan diberi bias tegangan dari rendah dekat katoda dan makin tinggi kearah anoda. Jumlah elektron yang keluar dari fotokatoda terlalu kecil untuk dapat diukur, disinilah tabung PMT memegang peranan untuk melipatgandakan jumlah elektron tersebut. Oleh tegangan tinggi yang terpasang pada dinode - dinode tersebut, jumlah elektron dengan muatan  $Q$  semakin banyak dan akhirnya terkumpul di anoda dan menimbulkan sinyal listrik (pulsa). Pulsa tersebut akan dilewatkan melalui penguat mula dan kemudian diperbesar pulsanya oleh suatu rangkaian penguat linear sehingga siap untuk dianalisa tinggi pulsanya.

Dalam penelitian ini digunakan detektor sintilasi anorganik  $\text{NaI(Tl)}$ .

### II.6.3. Preamplifier

Tujuan utama preamplifier adalah untuk mendapatkan sambungan optimum antara output detektor dan sistem pencacah. Preamplifier juga berfungsi untuk menekan berbagai noise yang dapat menindas sinyal.

Sinyal keluaran detektor ditransmisikan melalui

suatu kabel ke instrumen berikutnya (amplifier) melalui suatu kabel. Sehingga jika pulsa keluaran detektor lemah, maka sinyal dapat hilang tertindas oleh noise elektronik yang menyertai transmisi tersebut. Hal ini dapat dicegah dengan menempatkan preamplifier sedekat mungkin dengan detektor.

Fungsi Utama dari preamplifier adalah untuk melakukan amplifikasi awal terhadap pulsa keluaran detektor, dan mencocokkan impedansi keluaran detektor dengan kabel sinyal masuk ke amplifier (impedance matching). Disamping itu, penguat awal juga melakukan pembentukan pulsa pendahuluan dan memegang peranan dalam menurunkan derau (noise). Setelah melalui preamplifier, sinyal akan sampai dengan aman ke amplifier yang ditempatkan pada jarak tertentu.

#### II.6.4. Amplifier

Pulsa keluaran (output) dari sebuah detektor adalah pulsa yang mempunyai waktu timbul (rise-time) yang sangat singkat dan akan turun dengan perlahan-lahan.

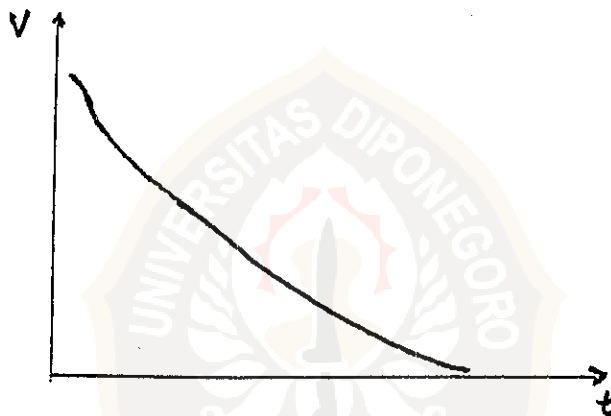
Untuk naik dari 10 % - 90 % tinggi amplitudo pulsa diperlukan waktu  $\pm 1 \mu s$  ( $= 10^{-6}$  detik). Sedangkan untuk turun dari puncak sampai ketinggian 37 % amplitudo pulsa diperlukan waktu antara 50 - 100  $\mu s$ .

Penguat dirancang agar dapat memberikan penguatan yang linier. (9)

Untuk menganalisa unsur radioaktif, kadang - kadang

diperlukan pengamatan distribusi energi rendah, yang terdapat diantara pancaran radiasi energi tinggi pada unsur tersebut.

Dalam memperkuat pulsa - pulsa dari energi rendah ini akan menyebabkan pula keadaan overload pada pulsa - pulsa energi tingginya. Di bawah keadaan overload ini, akan menyebabkan waktu turun dari pulsa eksponensial yang diperkuat amplitudonya menjadi lebih lebar. Sehingga disebut pulsa ekor (Tail pulse).



GAMBAR 5 <sup>(12)</sup>  
PULSA EKOR

Bentuk pulsa demikian jika aktivitas sinar  $\gamma$  yang dideteksi agak tinggi maka akan terjadi gejala "pile up", penumpukan dua pulsa yang berdekatan pada bagian penurunan eksponensial yang belum mencapai sumbu dasar.

Hal diatas dapat diselesaikan dengan memperpendek waktu turunnya pulsa dengan rangkaian diferensiator CR.

Waktu timbul pulsa (rise time) dari detektor yang cepat dapat diturunkan dengan rangkaian integrator RC.

### II.6.5. Single Chanel Analyzer

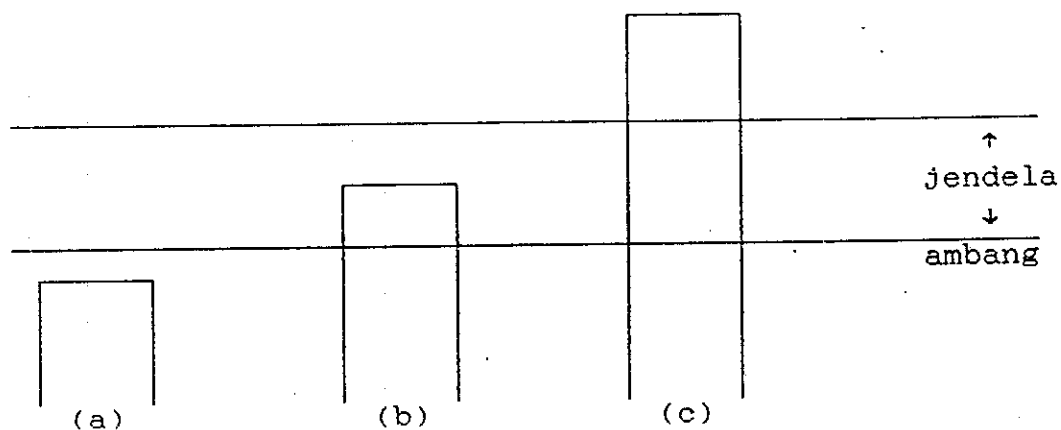
Single Chanel Analyzer digunakan untuk menghapus noise elektronik dan secara umum memilih pulsa-pulsa yang tidak diinginkan untuk dibuang.

Pulsa yang keluar dari penguat pulsa linier mempunyai amplitudo antara 0 Volt sampai 10 Volt, sedang tegangan yang diijinkan hanya dibawah 10 Volt, oleh karena itu pulsa input Single chanel analiser dibagi dua dengan rangkaian devider, kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian diskriminator.

Single Chanel analizer mempunyai satu salur pencahan yang dibatasi oleh suatu ambang (treshold) dan celah yang lebarnya bisa diatur, yang biasa disebut dengan jendela (window). Hanya pulsa-pulsa yang mempunyai tinggi amplitudo lebih besar daripada harga ambang dan lebih kecil dari batas atas jendela yang dapat diteruskan menuju alat cacah (counter). Semua pulsa yang tingginya lebih rendah dari harga ambang yang ditetapkan tak akan diteruskan, demikian juga semua pulsa yang lebih tinggi



dari batas atas jendela.



GAMBAR 4 (12)  
SALUR-PENCACAHAN

- (a) Pulsa di bawah ambang tidak diteruskan.
- (b) Pulsa di antara lebar jendela diteruskan.
- (c) Pulsa di atas batas atas jendela terpotong.

Penganalisa salur tunggal dapat memisahkan pulsa yang berasal dari sumber dengan pulsa derau. Biasanya pulsa derau adalah pulsa - pulsa rendah. Begitu juga dapat dibedakan pulsa yang berasal dari suatu tenaga sinar  $\gamma$  dengan pulsa yang berasal dari tenaga sinar  $\gamma$  yang lain. Oleh karena kemampuan untuk membedakan tinggi pulsa inilah maka single channel analiser bisa disebut sebagai diskriminator.

Pulsa - pulsa yang lolos dari diskriminator dilewatkan ke rangkaian buffer (yang terdiri dari rangkaian common emitter).

Rangkaian buffer berfungsi untuk mencegah terjadinya pembebanan. Rangkaian ini mempunyai hambatan input besar,

hambatan output kecil dan penguatan tegangan mendekati satu.

Standar NIM (tinggi 3,3 Volt dan lebar 0,5  $\mu$ s) pada bagian akhir diberi rangkaian pembentuk pulsa yang dibuat dari IC multivibrator monostabil.<sup>(6, 11)</sup>

#### II.6.6. Counter dan Timer

Setiap pulsa yang masuk ke counter akan ditampilkan dalam display. Alat ini menghitung semua pulsa yang dikeluarkan oleh penganalisis salur tunggal dalam jangka waktu yang telah ditetapkan sebelumnya ( preset ).

Timer dihubungkan dengan counter dan bertujuan untuk memulai (start) dan menghentikan (stop) pencacahan pada interval waktu yang diinginkan.

Pada perangkat ORTEC, counter ditempatkan dalam satu panel dengan Timer, sehingga terdapat dua display yang masing - masing menunjukkan cacah dan waktu pencacahan.