

Pengaruh Perubahan Tegangan Tinggi Tabung Photomultiplier (PMT) Terhadap Amplitudo Keluaran Detektor NaI(Tl)

Desy Amalia dan M. Munir

Laboratorium Fisika Atom dan Nuklir Jurusan Fisika Undip

Abstract

Study on the effect of voltage variation photo multiplier tube (PMT) to output amplitude signal of NaI(Tl) detector has been done by using voltage from 600 volt up to 900 volt with interval 50 volt, 30 volt, 10 volt and 2 volt.

The research method that used is observation method to output amplitude signal of NaI(Tl) detector with the increment of operation high voltage step by step.

The results show that the increment of variation high voltage will influence to channel number and height pulse (amplitude) based on hypothetical and statistical test with interval of confidence of 95 %.

PENDAHULUAN

Dalam spektrometri- γ menggunakan detektor NaI(Tl), diperlukan *Photo Multiplier Tube* (PMT) sebagai pengganda elektron. Radiasi yang jatuh pada detektor akan menghasilkan kerlipan cahaya yang menyebabkan terlepasnya elektron dari fotokatoda. Elektron tersebut akan digandakan oleh dinoda yang terdapat pada tabung pengganda elektron (PMT). Dinoda-dinoda ini diberi tegangan tinggi positif bertingkat untuk memperbanyak cacah elektron dan cacah elektron ini akan terakumulasi di anoda sehingga mampu menimbulkan sinyal dalam bentuk pulsa muatan. Pulsa muatan ini oleh *preamplifier* diubah menjadi pulsa tegangan negatif berorde “milivolt”. Selanjutnya pulsa ini diperkuat kembali oleh *amplifier* menjadi pulsa tegangan positif orde “volt” dan dianalisis dengan menggunakan penganalisis saluran ganda (Multi Channel Analyzer, MCA) (Camber, 1983).

Cacah elektron yang sampai ke anoda kadang belum sebanding dengan energi foton radiasi yang masuk. Ini disebabkan karena tegangan yang dipakai tidak sesuai dengan yang dibutuhkan oleh PMT. Selain itu penggandaan elektron pada PMT sangat sensitif terhadap perubahan tegangan tinggi terpasang (Knoll, 1979) sehingga dapat mempengaruhi amplitudo keluaran detektor NaI(Tl) maka sumber

tegangan tinggi (HV) yang terpasang harus mempunyai riak kecil.

Mengingat tabung pengganda elektron (PMT) adalah bagian yang penting dalam detektor sintilasi maka penelitian mengenai pengaruh variasi tegangan terhadap amplitudo keluaran detektor NaI(Tl) menjadi amat penting pula dilakukan. Hal ini dilakukan dengan memvariasi tegangan tinggi terpasang yang hal ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah ada korelasi antara perubahan tegangan tinggi terpasang dengan amplitudo keluaran detektor NaI(Tl). Dari perlakuan ini akan didapatkan korelasi antara perubahan tegangan tinggi terpasang dengan amplitudo keluaran detektor NaI(Tl) sehingga dapat diketahui bentuk korelasi antara tegangan tinggi terpasang dengan amplitudo. Sehingga nilai perubahan amplitudo keluaran detektor NaI(Tl) akibat perubahan HV terpasang akan diperoleh dan detektor pun dapat dijaga dari cepatnya kerusakan.

TEORI

Interaksi Foton - γ dengan Materi

Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton- γ dengan sebuah elektron yang terikat kuat dalam atom yaitu elektron pada kulit bagian dalam suatu atom, biasanya kulit K atau L. Foton- γ akan menumbuk elektron tersebut dan karena elektron itu terikat kuat maka

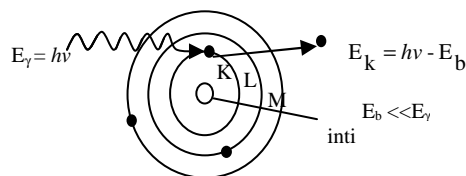
elektron akan menyerap seluruh tenaga foton- γ . Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton- γ dan tenaga ikat elektron (E_b) (Knoll, 1979).

$$E_k = h\nu - E_b \quad \dots(1)$$

Dengan E adalah energi foton- γ (J), E_k adalah energi kinetik elektron (J), E_b adalah energi ikat elektron (J), h adalah konstanta Planck ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s) dan ν adalah frekuensi gelombang elektromagnetik yang diserap atau yang dipancarkan elektron (Hz). Akibat harga energi ikat elektron yang kecil yang ordenya sekitar beberapa KeV maka persamaan 2.1 akan menjadi :

$$E_b \ll E_\gamma (= h\nu) \quad \dots(2)$$

Efek fotolistrik secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut :

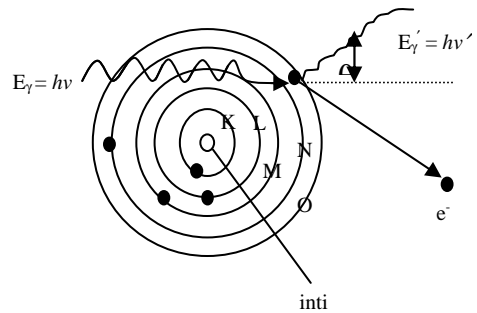


Gambar 2.1. Efek fotolistrik (Susetyo, 1988)

Dengan proses efek fotolistrik, diperoleh elektron yang mempunyai energi kinetik $E_k \approx h\nu$ yang terdistribusi secara diskrit sehingga akan menimbulkan tanggapan spektrum yang diskrit pula.

Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi antara foton- γ dan sebuah elektron bebas yang terdapat pada kulit terluar sebuah atom. Apabila foton- γ menumbuk elektron tersebut maka berdasarkan hukum kekekalan momentum tidak mungkin elektron akan dapat menyerap seluruh energi foton- γ seperti pada efek fotolistrik. Foton- γ akan menyerahkan sebagian energinya kepada elektron dan kemudian terhambur sebesar sudut θ terhadap arah gerak foton datang (E_γ) yang digambarkan sebagai berikut (Beiser, 1983):



Gambar 2.2. Hamburan Compton (Susetyo, 1988)

Energi foton- γ terhambur $h\nu'$, yang terhambur dengan sudut θ adalah sebagai berikut (Knoll, 1979):

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \quad \dots(3)$$

dengan m_0c^2 adalah energi diam dari elektron (0,511 MeV). Sedangkan energi kinetik dari elektron terhambur adalah :

$$E_k = h\nu - h\nu' = h\nu \left[\frac{\frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \right] \quad \dots(4)$$

Jika $\theta \cong 0$, maka $h\nu' \cong h\nu$ dan $E_k \cong 0$ akan menyebabkan elektron Compton energi kecil dan foton- γ terhambur yang mempunyai energi sama dengan energi foton- γ datang. Sedangkan untuk $\theta = \pi$ akan menyatakan energi maksimum yang dipindahkan ke elektron pada interaksi Compton.

Dari persamaan 2.3 dan 2.4 akan menghasilkan persamaan :

$$h\nu']_{\theta=\pi} = \frac{h\nu}{1 + 2\frac{h\nu}{m_0c^2}} \quad \dots(5)$$

$$E_k]_{\theta=\pi} = h\nu \left[\frac{2h\nu/m_0c^2}{1 + 2h\nu/m_0c^2} \right] \quad \dots(6)$$

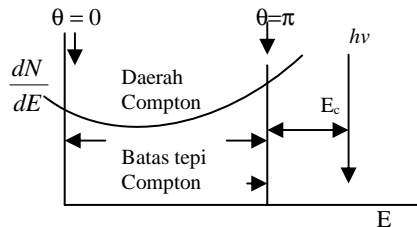
dengan m_0 adalah massa elektron diam ($9,10953 \times 10^{-31}$ Kg) dan c adalah laju cahaya dalam ruang hampa ($2,99792458 \times 10^8$ m/dt).

Daerah Compton berkisar dari $\theta = 0$ sampai titik maksimum yaitu saat $\theta = \pi$. Selisih antara energi elektron

Compton maksimum dengan foton- γ datang dirumuskan :

$$E_c \equiv h\nu - E_k \Big|_{\theta=\pi} = \frac{h\nu}{1 + \frac{2h\nu}{m_0c^2}} \dots(7)$$

Distribusi energi elektron Compton dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.3. Distribusi energi elektron Compton (Knoll, 1979)

Karena energi foton- γ besar atau $h\nu \gg m_0c^2/2$ maka besarnya jarak batas tepi Compton dengan E_γ fotolistrik dalam tanggapan spektrum sebesar 0,256 MeV. Dari proses hamburan Compton ini diperoleh elektron yang mempunyai energi kinetik yang besarnya antara 0 sampai $(E_\gamma - 0,256)$ MeV yang terdistribusi secara kontinu sehingga akan menimbulkan tanggapan spektrum yang kontinu pula (Knoll, 1979).

Detektor Sintilasi

Proses sintilasi adalah proses perpendaran cahaya. Detektor sintilasi merupakan detektor yang dapat mengubah radiasi menjadi suatu pendar cahaya. Pendar cahaya ini terjadi bila suatu bahan aktif detektor dikenai radiasi. Peristiwa pemancaran cahaya ini disebut sintilasi sedangkan bahannya disebut sintilator. Dilihat dari jenis bahan pembentuknya, sintilator dibedakan menjadi dua macam yaitu sintilator organik dan anorganik. Contoh sintilator anorganik adalah NaI(Tl), CsI (Tl) dan ZnS(Ag). Sedangkan contoh sintilator organik antara lain antrasen, naphtalen dan stilben (Susetyo, 1988). Kristal NaI(Tl) mempunyai diameter dengan ukuran 0,75 m dan ketebalan 0,25 m serta mempunyai densitas sebesar $3,67 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Emisi panjang gelombang maksimum kristal ini sebesar 410 nm dan efisiensi sintilasi sebesar 100 % serta mempunyai struktur kristal

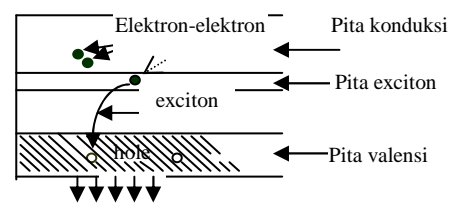
fcc (face centered cubic). Thallium (Tl) merupakan pengotor kristal dan berfungsi sebagai pengaktif proses pendar cahaya (Tsoufanidis, 1983).

Proses terbentuknya kelipan cahaya terjadi melalui dua proses yaitu flouresensi dan fosforesensi. Yang pertama apabila elektron menyerap tenaga dan tereksitasi lalu kembali lagi langsung ke keadaan dasar atau bisa juga melalui keadaan metastabil. Deeksitasi ini terjadi dalam waktu yang sangat singkat yaitu kecil dari 10^{-8} detik dan disebut *fluoresensi*. Jenis pancaran yang kedua dapat terjadi apabila suatu elektron yang berada dalam keadaan metastabil mendapat tambahan tenaga dari luar akan pindah ke tingkat tenaga yang lebih tinggi, lalu kembali ke keadaan dasar dengan memancarkan foton cahaya. Proses semacam ini disebut *fosforesensi* dan terjadi dalam selang waktu 10^{-8} detik. (Susetyo,1988)

Mekanisme Kerja Detektor Sintilasi

Foton- γ yang masuk ke dalam detektor NaI(Tl) akan berinteraksi dengan atom-atom di dalamnya menurut efek fotolistrik dan hamburan Compton. Melalui interaksi ini foton- γ akan menyerahkan sebagian atau seluruh tenaganya menjadi tenaga gerak elektron dan sebagai akibatnya akan dihasilkan elektron bebas.

Proses sintilasi terjadi bila atom sintilator tereksitasi dan diikuti deeksitasi sambil memancarkan foton cahaya. Detektor sintilasi terdiri atas dua bagian besar yaitu bagian sintilator dan bagian tabung pengganda elektron (PMT). Partikel γ yang datang akan mengeksitasi sintilator kemudian deeksitasi sambil memancarkan pendar cahaya.



Pita energi lain yang diijinkan dan dilarang

Gambar 2.4. Tingkat energi pada kristal NaI(Tl) (dimodifikasi dari Tsoufanidis, 1983)

Pada gambar diatas, elektron pada suatu atom menempati tingkat-tingkat energi yang sudah tertentu. Tingkat energi bersifat diskrit. Elektron-elektron valensi atom-atom dalam kristal terdapat dalam pita tenaga atau pita valensi. Pita tenaga lain yang kosong dinamakan pita konduksi. Antara pita valensi dan pita konduksi terjadi kesenjangan tenaga (*energy gap*) sebesar ΔE yang merupakan daerah terlarang dan elektron tidak dapat menempati daerah ini. Apabila elektron valensi mendapat tenaga dari luar maka elektron tersebut dapat naik ke pita konduksi (eksitasi) dengan meninggalkan lubang (*hole*). Pasangan elektron dan lubang ini disebut *exciton*. Kadang energi yang mengenai elektron tidak cukup untuk menaikkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga elektron berada dalam pita *exciton* yang lebarnya sebesar 1 eV. Dengan adanya aktivator yaitu thallium akan memungkinkan elektron pada *exciton* untuk berpindah ke pita konduksi dan bergerak di dalamnya. Apabila elektron pada pita konduksi kembali ke keadaan dasar (mengalami deeksitasi) akan diikuti dengan proses pendar cahaya.

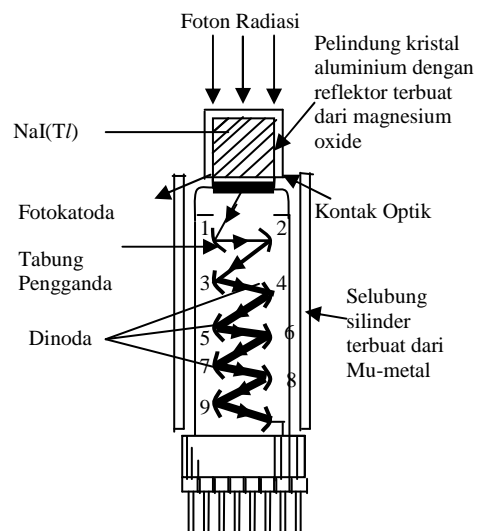
Dengan reflektor, sebagian besar cahaya tersebut akan diteruskan ke fotokatoda pada PMT. Pada fotokatoda, cahaya dari sintilator akan diubah menjadi elektron oleh fotokatoda. Elektron tersebut akan difokuskan dan dipercepat menuju dinoda pertama. Selama gerakannya menuju dinoda pertama, elektron tersebut mendapatkan tambahan energi gerak karena adanya medan listrik yang dipasang antara fotokatoda dan dinoda pertama. Kemudian elektron menumbuk elektron yang ada di dinoda pertama dan dalam proses tumbukan akan dilepaskan elektron-elektron lain.

Elektron-elektron yang telah diperbanyak jumlahnya yang keluar dari dinoda pertama akan dipercepat menuju dinoda kedua sehingga akan menghasilkan elektron lebih banyak lagi. Demikian seterusnya, sehingga sejumlah besar elektron dengan muatan Q terkumpul di anoda dan cukup menimbulkan sebuah pulsa listrik. Pulsa

tersebut akan dilewatkan melalui penguat awal dan kemudian diperbesar pulsanya oleh penguat linier sehingga siap untuk dianalisa tinggi pulsanya.

Tabung Pengganda Elektron (PMT)

Tabung pengganda elektron terdiri dari dua bagian yaitu fotosensitif (fotokatoda) dan bagian pengganda elektron (dinoda-dinoda). Bagian pengganda elektron berupa tabung gelas yang dihampakan bagian dalamnya. Pada bagian ujungnya, berlaku sebagai katoda yang terdiri dari dinding gelas yang dilapisi material yang sensitif terhadap foton ultraviolet, foton tampak dan foton infra merah. Fotokatoda berfungsi untuk mengubah foton cahaya yang datang menjadi energi kinetik elektron. Elektron ini kemudian digandakan oleh dinoda-dinoda sehingga dapat menghasilkan faktor penguatan 10^7 - 10^{10} elektron. Kemudian muatan elektron ini terkumpul pada anoda yang keluarannya sebanding dengan jumlah intensitas γ yang masuk. Bila cahaya masuk PMT, maka akan memberikan tanggapan setelah selang waktu 20-50 ns.



Gambar 2.6. Detektor sintilasi NaI(Tl) (modifikasi dari Knoll, 1979)

Dinoda Pengganda Elektron

Bagian pengganda elektron pada tabung PMT, bekerja berdasar atas adanya elektron sekunder. Elektron dari fotokatoda dipercepat menuju dinoda pertama tabung PMT. Energi elektron yang datang cukup untuk membebaskan

lebih dari satu elektron. Untuk pelepasan satu elektron pada dinoda memerlukan energi paling sedikit sama dengan lebar pita energi yaitu $\pm 2-3$ eV sehingga elektron yang meninggalkan fotokatoda dengan energi 1 keV akan dapat membentuk kira-kira 30 elektron bila dipercepat dengan memasang tegangan dinoda 100 V. Karena gerakan elektron tersebut tidak lurus, maka ada elektron yang dibebaskan sebagai elektron sekunder. Faktor penggandaan elektron untuk satu tingkat dinoda adalah

$$\delta = \frac{\text{Jumlah elektron sekunder yang terbebaskan}}{\text{Elektron primer yang datang}} \dots(8)$$

Untuk dinoda yang terbuat dari BeO, MgO atau CsSb, penggandaan dapat mencapai nilai 10 untuk energi yang datang sebesar 1 keV, namun rata-rata nilai δ tersebut kira-kira 4-6 untuk tegangan beberapa ratus volt.

Jika α dan δ konstan maka untuk n dinoda faktor penggandaannya menjadi :

$$M = \alpha(\delta)^n \dots(9)$$

Dengan n adalah jumlah dinoda dan α adalah fraksi fotoelektron yang terkumpul.

Nilai α tergantung pada faktor geometri dan δ tergantung pada tegangan yang terpasang diantara dua dinoda dan materi pembuat dinoda tersebut. Multiplikasi total tabung pengganda elektron tersebut sangat sensitif terhadap tegangan terpasang. Karena δ merupakan fungsi linier tegangan antar dinoda, maka untuk 10 tingkat dinoda faktor multiplikasi total akan sebanding dengan tegangan antar dinoda tersebut. Apabila k adalah suatu konstanta, faktor multiplikasi tersebut adalah :

$$M = kV^{10} \dots(10)$$

Dengan M adalah faktor penggandaan electron, k adalah konstanta penggandaan (V^{-10}) dan V adalah tegangan (V).

Untuk suatu tenaga gamma E_γ , akan diperoleh puncak fotopeak yang besar amplitudonya sebanding dengan faktor multiplikasi tersebut. Jadi amplitudo sinyal keluaran detektor tersebut akan sebanding dengan V^{10} dan k_1 adalah suatu konstanta sehingga

besarnya amplitudo sinyal keluaran tersebut adalah

$$A = k_1 V^{10} \dots(11)$$

Dengan perubahan tegangan tinggi terpasang tersebut maka besar amplitudo sinyal keluaran tabung pengganda tersebut akan berubah pula.

Detektor NaI(Tl)

Gambaran Fisik Detektor NaI(Tl)

Detektor NaI (Tl) terbuat dari kristal tunggal natrium iodida yang bersifat higroskopis, untuk itu 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 elektron (**Photo Multiplier Tube**) menggunakan perekat bening yang terbuat dari silikon. Ini dimaksudkan agar kelipan cahaya yang dihasilkan sintilator dapat masuk secara efektif ke dalam tabung pelipat ganda foton tersebut. Biasanya kristal NaI(Tl) dibuat dalam bentuk silinder dan ukurannya bermacam-macam tergantung keperluan (Susetyo,1988).

Kelebihan dan Kekurangan Detektor NaI(Tl)

Detektor sebagai alat deteksi juga memiliki kelebihan dan kekurangan, begitu pula dengan detektor NaI (Tl).

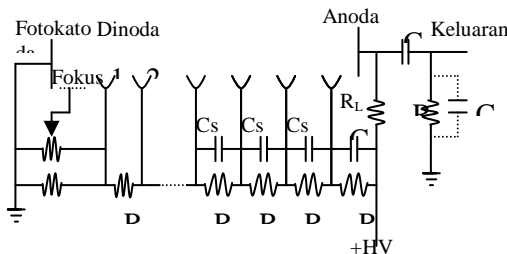
Kelebihan-kelebihan detektor ini antara lain efisiensi deteksi tinggi, Waktu bangkit dan waktu pulih singkat dan Ringan, sehingga detektor ini mudah dibawa kemana-mana (Alex, 1970). Adapun Kekurangan detektor ini adalah Resolusinya rendah, Sensitif terhadap panas dan kenaikan tegangan yang tiba-tiba dan Sintilator bersifat higroskopis (Tsoufanidis, 1983).

Penyedia Tegangan Tinggi dan Pembagi Tegangan

Sumber tegangan tinggi harus dihubungkan dengan PMT sehingga dinoda akan mengalami tingkat penggandaan antara satu dengan yang

lainnya. Karena elektron pada fotokatoda harus ditarik ke dinoda maka dinoda pertama harus diberi tegangan positif. Untuk pengumpulan fotoelektron yang cukup maka tegangan antara fotokatoda dan dinoda-dinoda berikutnya akan terjadi kenaikan beda tegangan. Pada prinsipnya PMT memerlukan perbedaan tegangan pada dinoda-dinodanya.

Beda tegangan biasanya dihasilkan dari sumber tegangan tinggi tunggal dan pembagi tegangan resistif. Dalam gambar 2.7 diberikan dasar dari penyusunan PMT dengan menggunakan polaritas tegangan tinggi positif.



Gambar 2.7. Skema rangkaian PMT (Modifikasi dari Knoll, 1979)

Katoda dari PMT ini ditanahkan, dan untai pembagi memberi tegangan positif pada tiap-tiap dinoda dan menggandakannya. Tegangan tinggi dipasang pada anoda dan sinyal keluaran diambil dari anoda dengan suatu kapasitansi agar tegangan tinggi dc tidak lewat. Kapasitansi yang dipasang pada anoda atau C_A merupakan kapasitansi tambahan yang dihubungkan dengan anoda dan kabel penghubung sebagai *blocking capacitor*.

Tegangan dc yang melalui kawat pembagi akan diperoleh dengan membandingkan tegangan tinggi yang digunakan dengan jumlah seluruh resistor di kawat pembagi. Hal ini digunakan untuk menjaga agar arus tetap minimum. Arus yang kecil akan memperkecil panas yang timbul pada resistor pembagi, namun arus kawat pembagi harus tetap besar apabila dibandingkan dengan arus PMT internal akibat adanya radiasi, agar tegangan pada dinoda tetap konstan. Arus ini biasanya tersimpan pada kapasitor *stabilising* atau C_s yang berfungsi sebagai arus masukan ke dinoda.

Kapasitor *stabilising* memberikan arus yang hilang dari dinoda selama pembentukan pulsa dan kemudian diisi kembali oleh pembagi arus selama selang waktu pembentukan pulsa. Ini dimaksudkan untuk mencegah perubahan tegangan yang lebih besar dari 1% antar dinoda dan muatan yang disimpan pada kapasitor *stabilising* (diberikan oleh hasil nilai kapasitansi dan tegangan antar dinoda) harus 100 kali lebih besar daripada muatan yang terpancar oleh dinoda.

Dengan menganggap ada 1000 fotoelektron yang dilepaskan dari fotokatoda dan PMT mempunyai faktor multiplikasi total sekitar 10^6 sampai 10^9 elektron per pulsa meninggalkan dinoda terakhir dan terkumpul pada anoda. Pulsa sintilasi ini biasanya terjadi pada 10^5 per sekon dan rata-rata arus anoda dc dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{avg} = 10^9 \frac{\text{elektron}}{\text{pulsa}} \times 1,6 \times 10^{-19} \frac{\text{Coulomb}}{\text{elektron}} \times 10^5 \frac{\text{pulsa}}{\text{detik}} \dots (12)$$

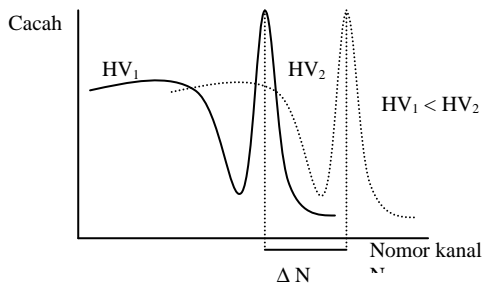
$$= 1,6 \times 10^{-5} \text{ A} = 0,016 \text{ mA}$$

Ujung fotokatoda ditanahkan, dalam rangka penerapan tegangan positif pada ujung anoda. Karena gain PMT sensitif terhadap perubahan tegangan maka sumber tegangan harus diatur dengan baik dan bebas dari riak (*ripple*). Jika variasi tegangan cukup besar akan memberi tanggap yang kurang baik terhadap resolusi energi pada detektor sintilasi.

Hubungan Spektrum Energi dengan Tinggi Amplitudo

Ketika detektor NaI(Tl) dikenai foton- γ , amplitudo yang dihasilkan oleh detektor dan penguat sebanding dengan energi foton- γ . Seperti terlihat pada spektrum energi- γ , puncak fotolistrik biasa dipakai sebagai ukuran tenaga- γ . Dengan tegangan tinggi terpasang tertentu, bentuk spektrum foton- γ akan bergantung pada tenaganya sehingga akan terjadi puncak fotolistrik yang tingginya (posisi nomor kanal) berbanding lurus terhadap besar energinya. Seperti diketahui bahwa faktor multiplikasi tabung pengganda elektron itu bergantung pada tegangan terpasang sehingga spektrum energi- γ tertentu akan bergeser apabila tegangan

tinggi terpasang divariasi. Hal ini digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8. Pergeseran nomor kanal akibat variasi tegangan

Amplitudo dengan tinggi diantara batas-batas tertentu yang cukup sempit dikumpulkan dalam suatu alamat tertentu pada sederetan memori bernomor urut yang sering disebut saluran kanal. Oleh karena itu nomor saluran atau nomor kanal akan sebanding dengan energi foton- γ .

Energi foton- γ yang datang kemudian diubah menjadi pulsa tegangan. Hal ini merupakan fluktuasi statistik dari elektron itu sendiri karena pulsa tegangan listrik yang dihasilkan dari tabung pengganda elektron adalah akibat dari pengumpulan muatan elektron yang dihasilkan anoda pada permukaan kapasitor. Dengan melihat pulsa amplitudo keluaran maka dapat dimungkinkan untuk menentukan nilai energi radiasi yang terdeteksi (Susetyo, 1988).

METODA PENELITIAN

Peralatan dan Bahan

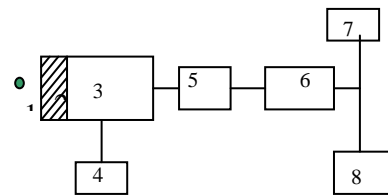
Penelitian ini dilaksanakan di P3TM BATAN Yogyakarta, baik sumber radioaktif maupun peralatannya seluruhnya tersedia di P3TM.

Alat-alat dan bahan yang digunakan adalah Sumber radiasi (Cs^{137} dan Mn^{54}) sebagai pemancar radiasi tunggal foton- γ , detektor NaI(Tl) sebagai pendeteksi foton- γ yang dikeluarkan dari sumber radiasi, kabel sebagai penghubung antara komponen yang satu dengan yang lain, T-Connector sebagai penghubung keluaran *amplifier* ke MCA dan CRO, Penguat awal (*preamplifier*) sebagai pengubah

pulsa muatan menjadi pulsa tegangan, Penguat (*amplifier*) sebagai pembalik tegangan negatif menjadi tegangan positif, Penganalisis salur ganda (MCA) sebagai penganalisis dari hasil keluaran, dan Osiloskop (CRO) sebagai penampil kurva radiasi.

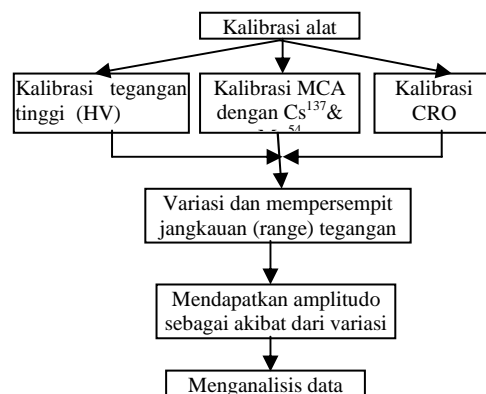
Diagram Blok Alat

Pada penelitian ini, skema peralatan ditunjukkan oleh gambar di bawah ini :



Gambar 3.1. Susunan peralatan pendeteksi foton- γ

Diagram Alur Penelitian



3.2. Diagram alur penelitian

Rancangan Percobaan

Variasi tegangan dalam range 600 sampai 900 volt dilakukan dengan interval sebesar 50 volt, 30 volt, 10 volt dan 2 volt. Data yang ada yaitu berupa nomor kanal selanjutnya dianalisa menggunakan garis persamaan regresi linier sederhana, mencari standar deviasi dari b, mencari Probable Error yang dirumuskan :

$$PE = 2/3 \sigma \quad \dots(13)$$

Kemudian dilakukan uji F dengan menggunakan daftar analisis variansi regresi linier sederhana.

Sumber Variansi	Dk	JK	KT	F
Total	N	Σy^2		
Koefisien a	1	JK(a)	JK(a)	
Regresi (b a)	1	JK(b a)	$S^2_{reg} = \frac{JK(b a)}{JK(S)}$	$\frac{S^2_{reg}}{S^2_{sis}}$
Sisa	n-2	JK(S)	$S^2_{sis} = \frac{JK(S)}{n-2}$	

$$JK(T) = \Sigma y^2$$

$$JK(b a) = b \{ \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y / n \}$$

$$JK(a) = (\Sigma y)^2 / n$$

$$JK(S) = JK(T) - JK(a) - JK(b a)$$

dengan dk adalah derajat kebebasan, JK adalah Jumlah Kuadrat KT adalah Kuadrat Tengah, n adalah jumlah total dan S/sis adalah sisa.

Apabila $F_{hit} > F_{tabel}$, H_0 ditolak sehingga koefisien arah regresi (b) sangat berarti.

Sumber Tegangan (PowerSupply)

Penyedia tegangan didapat dari jala-jala listrik 110 volt atau 220 volt 50 Hz, dengan mempergunakan sebuah *constan voltage transformator (CPT)*. Penyedia tegangan dc yang diperoleh ialah +5 volt (1,5A) ini digunakan untuk menyediakan rangkaian elektronik lainnya. Selain itu diperoleh pula penyedia tegangan dc +12 volt (1,5A) dan -12 volt (1A). Tegangan ini digunakan untuk menyediakan rangkaian operasional amplifier baik itu rangkaian terpadu ataupun diskrit yang terdapat pada preamplifier, amplifier, MCA dan tegangan tinggi (HV). Disamping itu khusus +12 volt digunakan untuk menyediakan tegangan dc ke konverter dc pada bagian tegangan tinggi (Liusman, 1975).

Perangkat Spektrometer- γ

Tegangan Tinggi (High Voltage)

Modul instrumentasi nuklir membutuhkan sumber tegangan arus searah. Ada dua macam sumber tegangan yang diperlukan yaitu sumber tegangan tinggi dan sumber tegangan rendah. Sumber tegangan tinggi digunakan untuk detektor, sedangkan sumber tegangan rendah digunakan untuk perangkat elektroniknya seperti preamplifier, amplifier, diskriminator, scaler dan timer (Bairi, dkk, 1994).

Penguat Awal (Preamplifier)

Dalam spektroskopi energi penguat awal berfungsi mengubah muatan detektor menjadi tegangan. Penguat awal ada tiga macam yaitu penguat awal peka tegangan, peka muatan dan peka arus. Penguat awal peka tegangan biasanya digunakan pada detektor sintilasi (Bairi, dkk, 1994).

Penguat (Amplifier)

Keluaran penguat awal biasanya kecil yaitu sekitar 1 volt. Keluaran ini perlu diperkuat sampai di atas 10 volt dengan menggunakan penguat utama (Bairi, dkk, 1994).

Analisis Tinggi Pulsa (PHA)

Pulsa hasil keluaran detektor akan diperkuat oleh preamplifier dan amplifier. Pulsa yang sudah diperkuat ini dikirim ke penganalisis salur ganda (MCA) yang mampu memilah-milah pulsa menurut tingginya. Pulsa dengan tinggi tertentu akan dicatat cacahnya dalam salur dengan nomor salur tertentu. Data numerik hasil pencacahan tersebut setiap saat diakumulasikan dalam saluran itu sampai waktu pencacahan selesai. Sebagai hasilnya dapat dilihat spektrum- γ pada layar MCA atau printer dan lain-lain.

Penganalisis Salur Ganda (MCA)

Penganalisis salur ganda merupakan gabungan dari banyak penganalisis salur tunggal dan dapat membuat spektrum- γ sekaligus. Pulsa yang masuk ke dalam MCA akan diteruskan ke ADC dan pulsa tersebut akan diubah menjadi bilangan (numerik) yang sebanding dengan tinggi pulsa tersebut. Setelah pencacahan, memori akan berisi daftar bilangan yang sesuai dengan cacah pulsa pada tiap tinggi pulsa (nomor salur / kanal) sehingga spektrum foton- γ dapat terlihat pada layar.

Untuk kalibrasi MCA digunakan sumber radiasi Cs^{137} dan Mn^{54} yang merupakan pemancar tunggal foton foton- γ (*Single gamma emitter*). Energi radiasi tersebut ditangkap oleh detektor

NaI(Tl) dan hasil cacah radiasi diamati pada MCA.

Osiloskop (CRO)

Bentuk pulsa radiasi juga dapat ditampilkan pada osiloskop. Untuk mendapatkan hasil optimal maka range volt/div pada CRO dikalibrasi pada $1V_{pp}$ dan frekuensinya 1KHz.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan pengamatan perubahan amplitudo sinyal keluaran detektor NaI(Tl) terhadap perubahan tegangan tinggi terpasang pada detektor. Untuk itu tegangan tinggi tersebut diubah antara 600 hingga 900 volt dengan interval masing-masing 50 volt, 30 volt, 10 volt dan 2 volt. Amplitudo sinyal detektor diamati dengan cara mencacah sinyal detektor menggunakan (MCA). Dengan demikian nomor kanal untuk posisi puncak fotolistrik dapat dicatat. Posisi nomor kanal ini akan bergeser (seperti halnya amplitudo detektor) jika tegangan detektor berubah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dan tabel 4.1.

Bertambahnya tegangan dengan interval 50 volt dan 30 volt akan mengakibatkan nomor kanal (amplitudo) berubah besar. Hal ini disebabkan karena dengan naiknya tegangan secara tiba-tiba maka loncatan elektron di dalam tabung pengganda elektron secara tiba-tiba akan meningkat cepat dan penggandaan elektron akan semakin banyak. Hingga hal ini akan berpengaruh pada jumlah muatan Q yang terkumpul di anoda. Apabila muatan semakin banyak maka jumlah amplitudo yang dihasilkan juga semakin tinggi. Sedangkan untuk interval 10 volt dan 2 volt (interval yang tidak terlalu besar), perubahan amplitudonya adalah sedikit demi sedikit.

Perubahan amplitudo untuk interval masing-masing 50 volt, 30 volt, 10 volt dan 2 volt secara eksperimen dan teori dapat diuji dengan uji statistik yaitu uji F. Dengan uji F ini dapat dilihat seberapa besar arti nilai eksperimen dan teori. Untuk interval 50 volt, 30 volt, 10 volt, 2 volt diperoleh bahwa nilai eksperimen dan teori memiliki taraf keberartian 95 % yang artinya apabila

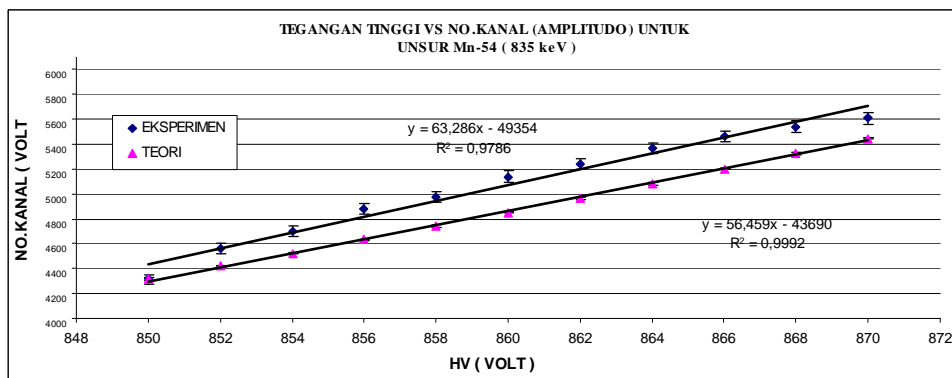
dilakukan perbandingan antara eksperimen dan teori, nilai-nilai tersebut dapat dipercaya sebesar 95 % dan sangat signifikan sehingga antara eksperimen dan teori mempunyai pengaruh yang sangat besar. Selain itu juga diperoleh koefisien korelasi (R) mendekati 1 (untuk interval masing-masing 50 volt, 30 volt, 10 volt dan 2 volt). Hal ini menunjukkan bahwa antara perubahan tegangan tinggi terpasang dengan amplitudo mempunyai korelasi linier, sehingga meskipun interval tegangan tinggi dibuat semakin kecil namun tetap akan mengakibatkan perubahan amplitudo.

Unsur Cs ¹³⁷	HV (Volt)	Interval (Volt)	Eksp. (mV)	Teori (mV)
	600-900	50	10,431	12,206
	600-900	30	10,466	12,209
	600-900	10	8,985	12,207
	600-690	10	8,484	10,294
	700-790	10	18,514	27,938
	800-900	10	38,778	62,620
	600-620	2	10,837	6,620
	700-720	2	19,110	18,338
	850-870	2	50,559	68,920
	890-910	2	64,320	73,509
Unsur Mn ⁵⁴	HV (Volt)	Interval (Volt)	Eksp. (mV)	Teori (mV)
	600-900	50	8,972	12,207
	600-900	30	9,072	12,207
	600-900	10	8,371	12,208
	600-690	10	11,162	17,284
	700-790	10	23,326	41,463
	800-900	10	49,824	82,839
	600-620	2	5,221	7,202
	700-720	2	38,091	23,548
	850-870	2	56,696	68,920
	890-910	2	77,254	94,593

Tabel 4.1. Perubahan amplitudo pada masing-masing interval tegangan

DAFTAR PUSTAKA

- Bairi, B.R., Singh, B., Rathod, N.C. dan Narurka P.V., 1994, *HandBook of Nuclear Medical Instrument*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, new Delhi.
- Beiser, A., 1982, *Konsep Fisika Modern*, Edisi ketiga, Penerjemah The How Liong, Departemen Fisika, ITB, Bandung.
- Chamber, H., 1983, *Pengantar Fisika Kesehatan*, Bergamon Press Inc., New York.
- Knoll, Glenn, F., 1979, *Radiation Detection and Measurments*, John Wiley & Son, New York.
- Luisman, T.R., Gayani, D., Suryadi, D., Rao, K.S., 1975, *Prototipe I Alat Pencacah Radiasi Sinar Gamma Buatan Prab*, Hasil-hasil Lokakarya Instrumentasi Nuklir dan Metode pengukuran radiasi Pusat Reaktor Atom Bandung, BATAN Jakarta.
- Susetyo, W., 1998, *Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Gadjah Mada University Press, Bulaksumur, Yogyakarta.
- Tsoulfanidis, N., 1983, *Measurment and Detection of Radiation*, University of Missouri-Rolla, Hemisphere Publishing Corporation, New York.



Gambar 4.1. Pergeseran nomor kanal (amplitudo) pada tegangan 850V -870V