

BAB II

DASAR TEORI

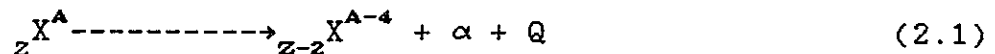
II.1 Radiasi Nuklir

Di alam banyak radiasi dipancarkan oleh zat radiaktif yang timbul karena adanya perubahan di dalam inti atom yang menuju ke keadaan stabil⁽⁴⁰⁾. Adapun beberapa jenis radiasi tersebut antara lain adalah:

II.1.1 Zarah Alpha (α)

Partikel α identik dengan inti helium (${}^4_2\text{He}$). Radiasi α biasanya dipancarkan dari bahan radioaktif alamiah dengan tenaga sekitar 3-10 Mev (1 eV adalah tenaga kinetik yang diperlukan elektron untuk berpindah dalam beda potensial 1 Volt) dan mempunyai nomor atom lebih besar dari 82, kecuali ${}^{147}_{62}\text{Sm}$. Peluruhan α terutama dipancarkan oleh inti yang memiliki nomor atom tingi seperti Th, Am, Pu.

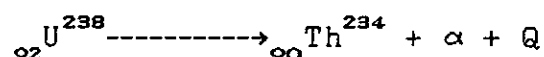
Transformasi peluruhan α dapat ditulis sebagai berikut:



dengan:

- ${}_Z^AX^A$: disebut inti induk
 ${}_{Z-2}^{A-4}X^{A-4}$: disebut inti turunan
 Q : energi yang dikeluarkan

Contoh peluruhan α adalah ${}_{92}^{238}\text{U}$ memancarkan α menjadi ${}_{90}^{234}\text{Th}$ dan ditulis:



II.1.2 Zarah Beta (β)

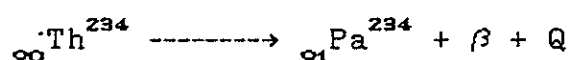
Atom dikatakan dalam keadaan stabil bila memiliki kombinasi pasangan proton (p) dan neutron (n) tertentu. Apabila suatu atom kelebihan neutron, maka secara cepat atau lambat salah satu dari padanya akan melakukan transformasi spontan menjadi proton dengan memancarkan partikel β .

Transformasi ini dapat ditulis sebagai berikut:



Tenaga β yang dipancarkan merupakan spektrum yang kontinyu. Bila terjadi peluruhan β , maka inti yang baru memiliki kelebihan satu proton dan kekurangan satu neutron dari inti induk.

Contoh peluruhan β oleh ${}_{90}^{234}\text{Th}$ menjadi ${}_{91}^{234}\text{Pa}$, ditulis:



II.1.3 Sinar γ dan sinar X

Apabila bahan radioaktif melakukan transformasi inti, maka akan diperoleh inti turunan yang memiliki energi lebih tinggi dari energi normal yang dimiliki oleh turunan yang stabil, maka inti ini akan membuang kelebihan energi tersebut dengan memancarkan gelombang elektromagnetik atau radiasi foton Gamma yang bersifat monokromatik. Hal ini berlangsung sebagai suatu mekanisme untuk mengembalikan inti yang tereksitasi tersebut ke tingkat dasarnya. Emisi foton ini terjadi kurang lebih 10^{-12} detik setelah terbentuknya tingkatan inti baru, tetapi ada juga yang lebih lama (10^{-7} detik sampai beberapa jam) yang disebut transisi isomer ⁽⁴⁰⁾. Jadi sinar γ merupakan emisi yang timbul dalam proses transisi inti (de-eksitasi).

Sinar X terjadi karena adanya transisi elektron pada kulit atom suatu materi apabila materi tersebut dikenai elektron. Proses de-eksitasi elektron orbital inilah yang memancarkan sinar X.

Foton γ dan sinar X adalah dua macam foton radiasi yang mempunyai sifat yang sama. Keduanya adalah zarah yang tidak bermuatan dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sedangkan perbedaannya adalah terdapat pada proses terjadinya.

II.2 Interaksi Radiasi dengan Materi

Apabila radiasi nuklir mengenai bahan akan terjadi interaksi antar partikel. Jenis interaksinya bergantung pada jenis radiasi dan tenaganya.

II.2.1 Interaksi Radiasi α dengan Materi

Radiasi α berupa partikel berat dan bermuatan 2 positif. Bila mengenai bahan akan mudah berinteraksi dengan atom, terutama lewat interaksi medan listrik Coulomb, dimana akan terjadi pemindahan tenaga ke tenaga gerak atau tenaga termal atom ⁽²⁾.

Gejala yang dapat diamati dalam interaksi α dengan bahan adalah timbulnya arus elektron dan pancaran cahaya. Intensitas arus elektron dan pancaran cahaya bergantung pada tenaga α dan struktur bahan.

II.2.1.1 Hubungan Jangkauan (Range) α dan Energi

Partikel α merupakan radiasi yang memiliki daya tembus paling kecil. Di udara sekalipun partikel α yang paling energitik dari suatu radioaktif hanya mampu menempuh jarak beberapa cm.

Medan penyerap yang paling sering digunakan untuk menetapkan hubungan jangkauan-energi bagi partikel α adalah

udara. Untuk energi-energi yang kurang dari 4 Mev dan untuk energi antara 4 Mev-8Mev, jangkauan dalam udara pada suhu 0 °C dan tekanan 760 mmHg dapat didekati secara teliti dengan persamaan-persamaan (2.3) dan (2.4)⁽¹²⁾.

$$R \text{ (cm)} = 0,56 E \text{ Mev} \quad (2.3)$$

Untuk $E < 4 \text{ Mev}$

$$R \text{ (cm)} = 1,24 E \text{ Mev} - 2,62 \quad (2.4)$$

Untuk $4 \text{ Mev} < E < 8 \text{ Mev}$

Jangkauan partikel α dalam medium lainnya dapat dihitung dari hubungan berikut⁽⁵⁾:

$$R_m \text{ (mg/cm}^2\text{)} = 0,56 A^{1/3} R \quad (2.5)$$

dengan:

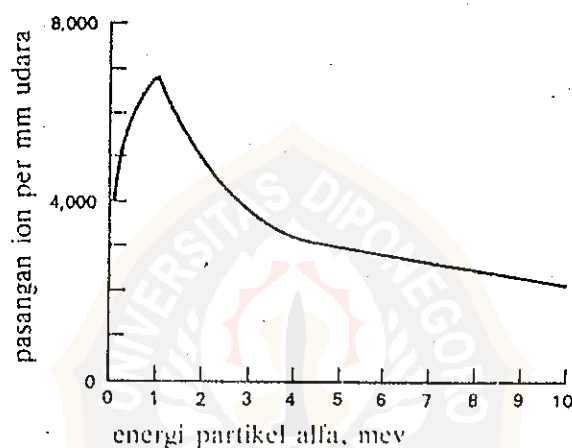
A = Nomor atom medium

R = Jangkauan (range) partikel α dalam udara (cm)

II.2.1.2 Pemindahan Energi pada sinar α

Mekanisme hilangnya energi bagi partikel α adalah pegaktifan dan ionisasi elektron. Pada saat bergerak melintasi udara, sebuah partikel α kehilangan sekitar 35 eV perpasangan ion yang terbentuk. Karena tingginya muatan

elektron dan kecepatan yang relatif rendah karena besarnya masa, maka ionisasi jenis dari suatu partikel α sangat tinggi kira-kira puluhan ribu pasangan ion percentimeter di udara ⁽⁵⁾. Hal ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 : Kurva ionisasi jenis Bragg dari partikel α di udara pada suhu dan tekanan standar.

II.2.2 Interaksi Radiasi β dengan Materi.

Radiasi β juga bermuatan listrik tetapi massanya sangat ringan. Interaksi dengan bahan lewat medan Coulomb. Bila radiasi β mengenai bahan, maka elektron-elektron pada atom dapat tertumbuk sehingga dapat lepas dari atom. Bila tenaganya rendah maka elektron tidak lepas tetapi hanya pindah lintasan ke orbit yang lebih luar (eksitasi)⁽²⁾.

Seperti pada interaksi α dengan bahan, disini juga dapat ditimbulkan arus elektron dan pancaran cahaya oleh pengisian elektron dari bagian luar ke lintasan yang lowong di bagian dalam. Untuk atom dengan kerapatan elektron tinggi, mudah terjadi tolakan oleh medan Coulomb sehingga gerakan diperlambat sambil memancarkan gelombang elektro magnet terutama sinar-X, juga terjadi pemindahan tenaga β menjadi tenaga gerak atau termal dari atom.

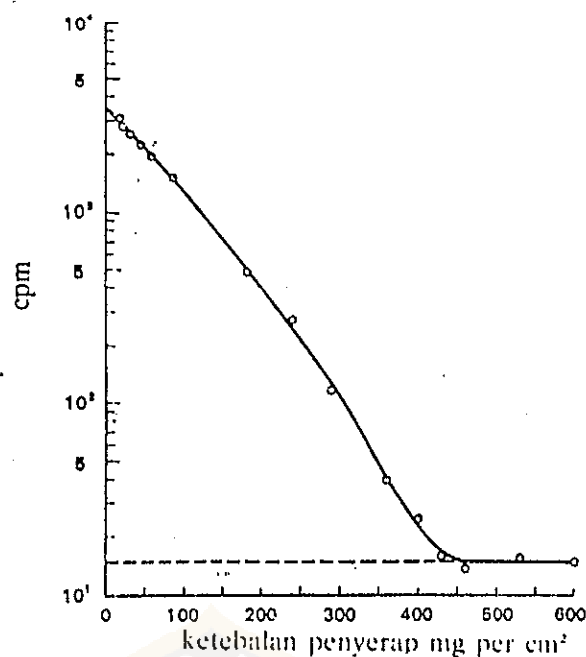
Dari interaksi sinar β terhadap bahan tersebut, gejala yang dapat diamati langsung adalah timbulnya arus elektron dan pancaran cahaya dari bahan. Besarnya arus elektron dan intensitas cahaya bergantung pada tenaga radiasi β , jenis atom dan struktur atom dalam bahan. Karena massa partikel β yang ringan dan muatannya hanya 1 satuan, interaksinya dengan bahan lebih lemah dibandingkan interaksi α . Di dalam udara, tenaga β sebesar 1 Mev dapat bergerak

sejauh beberapa cm sampai tenagannya habis.

II.2.2.1 Hubungan antara Jangkauan (Range) β dan Energi

Pelemahan sinar β yang disebabkan oleh penyerap tertentu dapat diukur dengan meletakkan penyerap-penyerap dengan ketebalan yang semakin meningkat antara sumber radiasi β dengan suatu detektor radiasi β , dan kemudian menghitung partikel-partikel β yang menembus penyerap-penyerap tersebut. Bila hal ini dilakukan oleh pemancar β murni, maka akan dilihat bahwa pertama-pertama angka hitungan partikel β akan menurun dengan cepat dan kemudian melambat sesuai dengan meningkatnya ketebalan penyerap. Akhirnya akan dicapai suatu ketebalan yang akan menyerap semua partikel β , kemudian pencacah akan mencacah hitungan-hitungan dasar (Background count) yang ditimbulkan oleh radiasi lingkungan.

Bila dibuat grafik hubungan antara cacah dengan ketebalan dengan mempergunakan kertas "semi-log" untuk memplot data tersebut, maka akan diperoleh hubungan seperti pada gambar 2⁽⁵⁾.



Gambar 2: Kurva penyerapan (penyerap Al) partikel β
 ^{210}Bi 1,17 Mev.

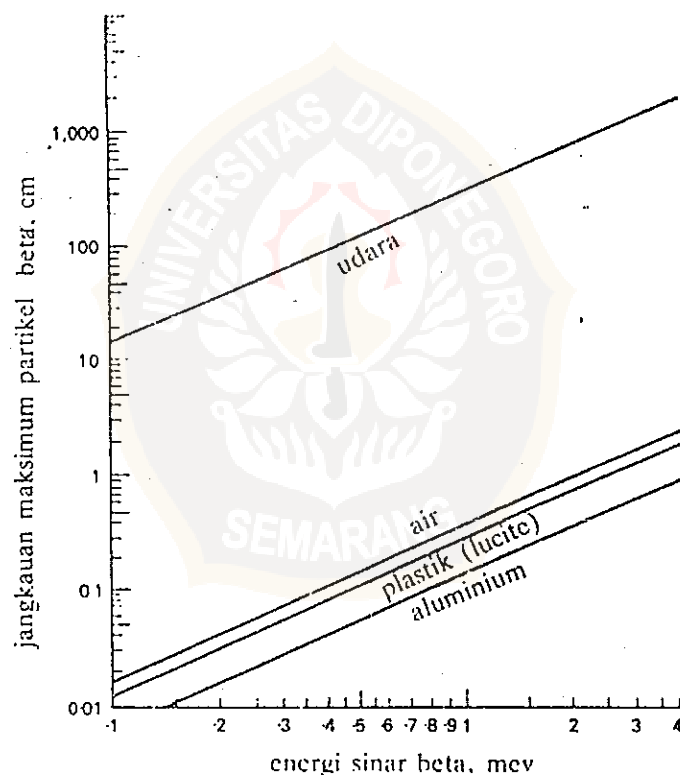
Garis putus-putus pada gambar 2 menyatakan cacah latar rata-rata.

Karena energi maksimum dari berbagai isotop diketahui, maka dengan mengukur jangkauan partikel β dalam bermacam-macam penyerap, hubungan antara jangkauan dengan energi diperlihatkan pada gambar 3.

Dengan mengamati gambar 3 akan terlihat bahwa ketebalan penyerap yang diperlukan untuk energi radiasi β tertentu akan menurun jika densitas (kerapatan) dari penyerap meningkat.

Analisis yang terperinci terhadap data eksperimental

akan memperlihatkan bahwa kemampuan untuk menyerap energi dari radiasi partikel β tergantung pada jumlah elektron yang terserap dalam garis lintas partikel β yaitu pada densitas luasan (areal density) elektron per cm^2 dari elektron-elektron yang terdapat dalam penyerap dan pada tingkat yang jauh lebih kecil, tergantung pada nomor atom penyerap.



Gambar 3: Kurva jangkauan-energi untuk sinar β dalam berbagai macam penyerap

Secara matematis, ketebalan density (t_d) didefinisikan sebagai berikut⁽⁵⁾:

$$t_d(\text{gram/cm}^2) = \rho(\text{gram/cm}^3) \cdot t_i(\text{cm}) \quad (2.6)$$

Gambar 4 memperlihatkan sebuah kurva jangkauan partikel β (dalam satuan ketebalan densitas) terhadap energi. Kurva tersebut yang didasarkan pada pengukuran jangkauan-energi eksperimental, dan ditunjukkan oleh persamaan-persamaan berikut:

$$R = 412 E^{1,256-0,0954 \ln E} \quad (2.7)$$

Untuk $0,01 \leq E \leq 2,5 \text{ Mev}$

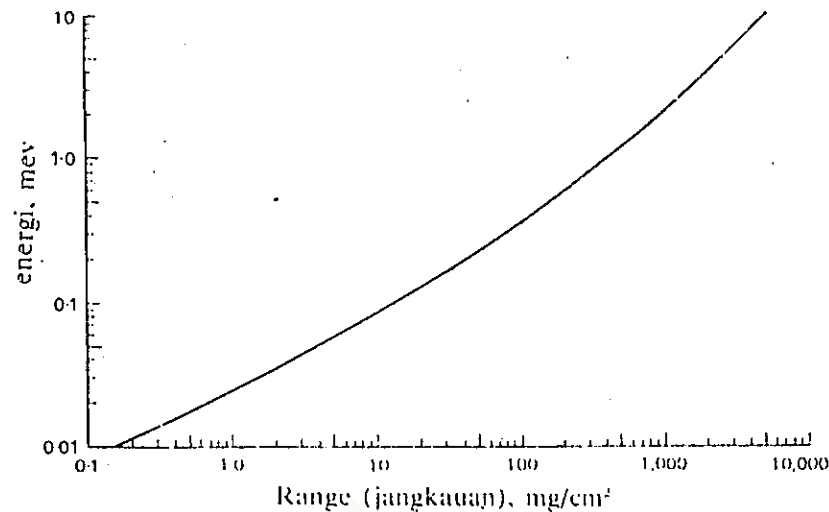
$$\ln E = 6,63 - 3,2376 (10,2146 - \ln R)^{1/2} \quad (2.8)$$

$$R = 530 E - 106$$

Untuk $E > 2,5 \text{ Mev}$ $R > 1200$

$$R = \text{Jangkauan (range) mg/cm}^2$$

$$E = \text{Energi sinar } \beta \text{ maksimum Mev}$$



Gambar 4 : Kurva jangkauan-energi partikel β .

Jangkauan (range) dinyatakan dalam satuan ketebalan densitas.

II.2.2.2 Mekanisme hilangnya Energi β

Laju linier hilangnya energi dari sebuah partikel β yang ditimbulkan oleh ionisasi jenis dan pengaktifan, biasanya dinyatakan dalam ionisasi jenis. Ionisasi jenis merupakan jumlah pasangan ion yang terbentuk persatuan jarak yang ditempuh oleh partikel β . Pada umumnya untuk partikel β yang berenergi rendah, ionisasi jenisnya relatif tinggi. Ionisasi jenis tersebut akan meningkat dengan cepat bersama meningkatnya energi partikel β , hingga dicapai suatu nilai

minimum sekitar 1 Mev⁽¹²⁾. peningkatan energi β berikutnya menghasilkan spesifikasi yang meningkat secara lambat seperti pada gambar 5.

Laju hilangnya energi yang disebabkan oleh pengaktifan dan ionisasi bisa dihitung dari persamaan (2.9).

$$\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi q^4 NZ \times (3 \cdot 10^9)^4}{E_m \beta^2 (1,6 \cdot 10^{-6})} \left\{ \ln \left[\frac{E_m E_k \beta^2}{I^2 (1 - \beta^2)} \right] - \beta^2 \right\} \frac{\text{Mev}}{\text{cm}} \quad (2.9)$$

dengan:

q = muatan elektron $1,6 \times 10^{-19}$ C

N = jumlah atom-atom penyerap per cm^3

Z = Nomor atom penyerap

NZ = jumlah elektron penyerap per $\text{cm}^3 = 3,88 \times 10^{20}$ untuk udara pada suhu 0°C dan tekanan 76 cmHg

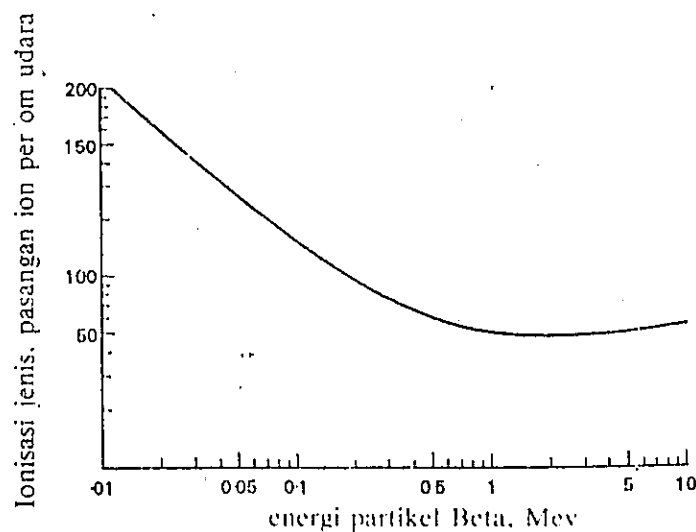
E_m = Energi yang setara dengan elektron yang bergerak dengan kecepatan cahaya = 0,51 MeV

E_k = Energi kinetik dari partikel β Mev

I = Ionisasi rata-rata dan potensial pengaktifan dari atom-atom penyerap.

I = 8,6 untuk udara dan untuk substansi lain

$$I = 1,35 \times 10^{-5} Z$$



Gambar 5 : Hubungan antara energi partikel β dan Ionisasi jenis udara

II.2.3 Interaksi Radiasi γ dengan Materi

Radiasi γ tidak bermassa dan bermuatan, maka tidak ada interaksi dengan medan listrik. Bila radiasi γ mengenai bahan, foton γ akan berinteraksi langsung dengan elektron atau inti. Jenis interaksinya ada 3 peristiwa yaitu^(2,11):

II.2.3.1 Efek Photolistrik

Pada efek photolistrik, foton γ yang melalui materi akan memberikan seluruh tenaganya kepada elektron orbital suatu atom. Tenaga tersebut digunakan sebagai tenaga gerak elektron dan untuk melepaskan elektron dari ikatannya. Bila

tenaga kinetik elektron ini sebesar E_k , maka akan berlaku hubungan sebagai berikut:

$$E_k = h \nu - I \quad (2.10)$$

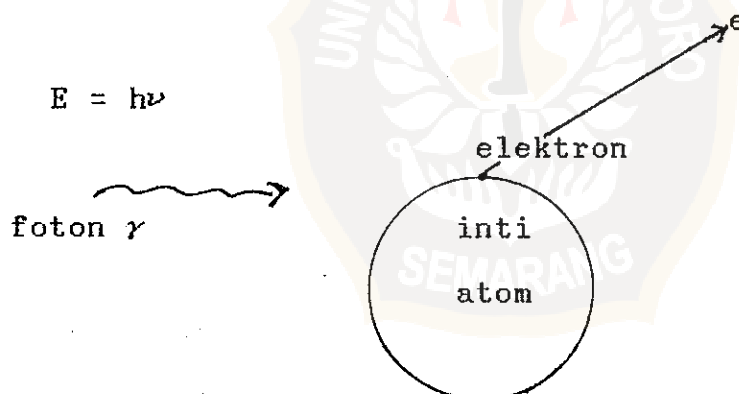
dengan:

E_k = Tenaga gerak elektron

ν = frekuensi foton gamma

I = Tenaga ikat elektron orbital

Secara skematis efek photolistrik dapat digambarkan sebagai berikut:



$$E_k = h\nu - I$$

Gambar 6 : Peristiwa Efek Photolistrik

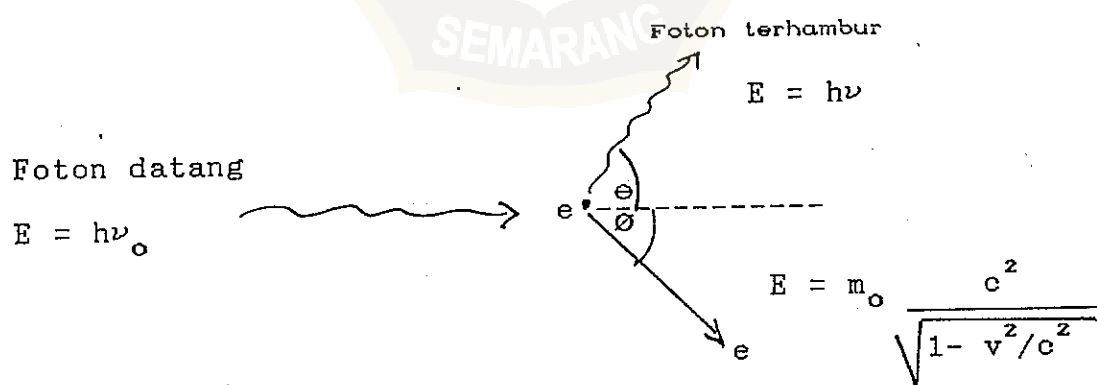
Efek photolistrik akan terjadi bila tenaga foton γ yang datang lebih besar dari tenaga ikat elektron orbitalnya.

II.2.3.2 Efek Compton

Efek Compton sering disebut juga hamburan Compton, adalah suatu proses yang terjadi apabila foton γ melewati materi penyerapnya, maka akan memberikan sebagian tenaganya dan sisanya akan dihamburkan. Proses hamburan Compton akan terjadi bila memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Elektronnya sebagai elektron bebas.
2. Tenaga foton γ yang datang harus lebih besar dari tenaga elektron bebas.

Pada tumbukan antara foton γ dengan elektron bebas pada materi penyerapnya, tenaga dan momentum sistem secara total adalah tetap. Secara skematis hamburan Compton dapat digambarkan sebagai berikut:

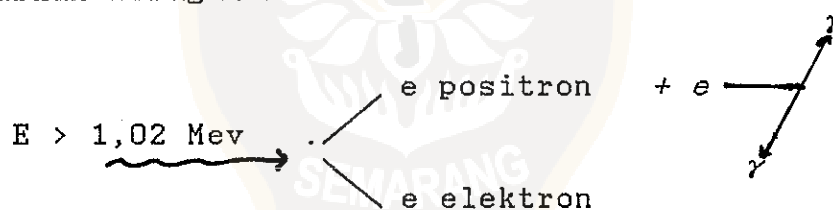


Gambar 6: Peristiwa Efek Compton

Yang dimaksud elektron bebas pada hamburan Compton adalah elektron yang tenaga ikatnya dengan inti relatif kecil jika dibandingkan dengan tenaga foton γ yang menumbuknya. Tenaga foton γ yang datang selain untuk membebaskan elektron orbital juga dihamburkan dengan sudut hamburan θ . Pada proses hamburan Compton, jumlah tenaga sistem adalah tetap.

II.2.3.3 Efek Bentukan Pasangan

Jika suatu foton yang mempunyai tenaga $\geq 1,02$ Mev maka seluruh tenaga foton tersebut akan digunakan untuk membentuk pasangan elektron-positron. Secara skematis dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 7 : Efek bentukan pasangan

Bila foton γ mempunyai tenaga $1,02$ Mev, maka kelebihan tenaga akan menjadi tenaga gerak dari pasangan elektron-positron. Bila positron yang terjadi dalam efek pembentukan pasangan bertemu dengan elektron, maka akan

segera menjadi dua foton γ . Peristiwa ini disebut proses "anihilasi" dan peristiwa ini mengikuti terjadinya efek pembentukan pasangan.

II.3 Detektor

Detektor adalah suatu alat yang digunakan untuk mendeteksi atau mengetahui suatu besaran fisis. Jadi detektor tidak lain adalah suatu transduser yaitu alat yang bisa mengubah dari suatu besaran ke besaran lainnya. Dengan demikian detektor radiasi adalah transduser yang mengubah besaran radiasi menjadi besaran lain, sehingga bisa diamati dan diukur intensitas serta energinya⁽²⁾.

Efek interaksi radiasi nuklir (α, β, γ) dengan materi umumnya dapat menimbulkan gejala yang dapat diamati, yaitu arus elektron atau pancaran cahaya⁽²⁾. Jenis detektor yang digunakan bergantung pada jenis radiasi nuklir. Karakteristik masing-masing detektor dinyatakan dengan harga efisiensi dan resolusi tenaga dan tegangan kerjanya. Jenis detektor nuklir yang biasa digunakan adalah:

- a. Detektor Isian Gas
- b. Detektor Sintilasi
- c. Detektor Semikonduktor

II.3.1 Detektor Isian Gas

Efek yang terjadi dari detektor ini adalah ionisasi. Struktur rancangan dari detektor ini terdiri dari 2 logam elektroda yang dihubungkan pada sumber tegangan dengan gas diantaranya yang dapat terionisasi bila dikenai radiasi. Molekul gas akan terionisasi oleh radiasi sehingga menghasilkan pasangan ion positif dan ion negatif.

Dalam medan listrik diantara kedua elektroda, ion positif dan ion negatif akan tertarik oleh katoda dan anoda sehingga menghasilkan pulsa listrik.

Detektor isian gas terbagi atas : Tabung Ionisasi, Proporsional counter dan Geiger muler counter.

II.3.2 Detektor Sintilasi

Prinsip kerja detektor sintilasi adalah adanya pemancaran cahaya bila suatu bahan dikenai radiasi.

Detektor sintilasi dibagi menjadi dua macam yaitu:

- a. Detektor Sintilasi Organik, contoh: Antrasen, naphtalen
- b. Detektor Sintilasi Anorganik, contoh: NaI(Tl), ZnS(Ag)

II.3.3 Detektor Semikonduktor

Efek yang terjadi pada pendeteksian dengan detektor ini adalah Ionisasi. Detektor semikonduktor dapat dimisalkan

seperti tabung ionisasi dengan kristal semikonduktor sebagai pengganti gas pengisi⁽³⁾.

Sumber tegangan yang diberikan untuk kuat medan diantara elektrodanya relatif tinggi, sedangkan untuk memperkecil efek derau dalam penggunaan detektor ini perlu pendinginan sampai beberapa derajat di bawah nol oleh nitrogen cair. Contoh detektor semikonduktor : Sawar muka, Si(Li), Ge(Li), HPGe.

Nama Detektor	Penggunaan	Effisiensi	Sifat-sifat Lain	Waktu mati
Tabung Ionisasi	Pengukuran aktivitas tinggi	Tergantung energi	Tanpa kalibrasi yg teliti	-
Proportional	Pengukuran radiasi-partikel	rad.par 100% rad em 1-2%	Butuh catu daya yg stabil	<10 μ s
Geiger-Muler	Pengukuran radiasi-partikel	rad.par. 100% rad em 1-2%	Terbatas, lapi berumur panjang	<1 ms
Sintilasi	Pengukuran segala macam radiasi	secara umum baik	Laju pencacahan tinggi	<1 μ s
Semikonduktor	Pengukuran segala macam radiasi	secara umum baik dan tergantung Energi	Saat pengukuran dan penyimpanan butuh pendinginan	0,1 μ s

Tabel 1: Macam macam detektor dan spesifikasinya

IV. Detektor Sintilasi

Bahan pembuat detektor sintilasi ada dua macam yaitu: Organik dan Anorganik. Bahan-bahan tersebut akan memancarkan cahaya bila dilewati radiasi. Peristiwa pemancaran cahaya tersebut disebut sintilasi dan bahannya disebut Sintilator⁽ⁿ⁾.

II.4.1 Detektor Sintilasi Organik

Sintilator organik menurut jenisnya ada tiga macam yaitu:

a. Sistem Uniter

Sistem uniter terutama berbentuk keistal murni, seperti Antrasen dan plastik murni.

b. Sistem Biner

Sistem biner berbentuk solusi kristal dari p.terpentil dalam Toluena atau Naphtalen.

c. Sistem Terner

Sistem terner mengandung p.terpenil dan PO POP dalam Toluena atau Polistiren.

Sintilator organik banyak digunakan untuk mendeteksi partikel yang mempunyai daya ionisasi besar atau partikel bermuatan, tetapi jarang digunakan untuk mendeteksi partikel tak bermuatan atau sinar Gamma karena efisiensinya kecil.

II.4.2 Detektor Sintilasi Anorganik

Sintilator anorganik menurut jenisnya dapat dibagi menjadi 3 yaitu ^(9,12):

- a. Kristal halida alkali tak murni

Contoh:

NaI dengan aktivator Tl atau NaI(Tl)

CsI dengan aktivator Tl atau CsI(Tl)

- b. Kristal halida alkali murni digunakan untuk sintilator pada suhu rendah.
- c. Sulfida seng yang berbentuk bubuk seng kristalin dengan menggunakan aktivator perak digunakan sebagai sintilator untuk mendeteksi partikel bermuatan (α).

Proses yang terjadi dalam detektor sintilasi dibagi dalam 3 tahap yaitu:

1. Proses Absorpsi

Pada partikel bermuatan yang masuk ke dalam sintulator maka akan kehilangan energinya sebanding dengan jarak tempuhnya. Untuk radiasi elektromagnet (sinar γ atau sinar-X) jika masuk sintilator akan terjadi 3 proses yang penting yaitu: Efek fotolistrik, Efek Compton dan Produksi pasangan ^(4,5). Dari ketiga proses ini pada akhirnya energi sinar gamma seluruhnya akan digunakan untuk menghasilkan elektron dan memberi energi kinetik

pada elektron tersebut.

2. Proses Sintilasi

Sintilasi atau pemancaran radiasi akan timbul karena adanya energi panas yang dihasilkan dari absorpsi energi pada proses absorpsi.

3. Konversi Sinar (radiasi) menjadi pulsa listrik

Sinar yang dipancarkan oleh sintilator diarahkan pada katoda dari suatu tabung pengganda elektron (PMT) yang secara optik digandeng dengan sintilator tersebut (gambar 9).

Cahaya yang dihasilkan oleh sintilator sewaktu dikenai radiasi nuklir ditangkap oleh photokatoda yang terpasang pada PMT. Pada tabung ini selain terdapat photokatoda juga ada banyak anoda (disebut dinoda). Sebagai katodanya adalah *photocell* yang langsung kena cahaya^(1,4,5).

Pada anoda dipasang tegangan secara bertingkat, mulai rendah di katoda, sampai tinggi di dinoda terakhirnya. Bila cahaya dari bahan detektor mengenai photokatoda maka akan melepaskan elektron. Elektron akan tertarik ke dinoda pertama, sewaktu menumbuk dihasilkan lebih banyak elektron. Elektron ini akan ditarik oleh dinoda kedua dan akan

diperbanyak lagi, begitu seterusnya sampai di dinoda terakhir dihasilkan cukup banyak elektron. Bila dinoda terakhir ini dihubungkan dengan suatu rangkaian hambatan akan dihasilkan pulsa listrik negatif^(4,5).

Tinggi pulsa keluaran dari PMT sebanding dengan energi, sedangkan jumlah pulsa sebanding dengan intensitas radioaktif yang datang. Hubungan antara tinggi pulsa dengan tenaga radiasi nuklir yang masuk detektor adalah seperti pada persamaan (2.11).

$$E = k \cdot v \quad (2.11)$$

dengan:

E = Tenaga radiasi yang datang (eV)

k = Suatu tetapan dan biasanya bersatuan eV/V

v = Tinggi pulsa

Sintilator juga dapat digunakan untuk mengukur aktivitas radiasi⁽⁴⁾. Hubungan antara aktivitas dengan cacah seperti pada persamaan (2.12).

$$N = A \eta t \quad (2.12)$$

dengan:

N = cacah pulsa

A = Aktivitas sumber radiasi

η = Efisiensi

t = Waktu lamanya pencacahan

Sedangkan aktivitas sumber dapat dihitung dengan rumus (2.13)

$$A = A_0 e^{-\lambda \cdot t} \quad (2.13)$$

dengan:

A = Aktivitas sumber pada waktu t detik

A_0 = Aktivitas sumber pada waktu nol detik

λ = Tetapan radioaktif dan biasanya dinyatakan dalam dimensi T^{-1} (persatuan waktu)

t = Selang waktu antara pengukuran aktivitas awal dan aktivitas pada waktu digunakan.

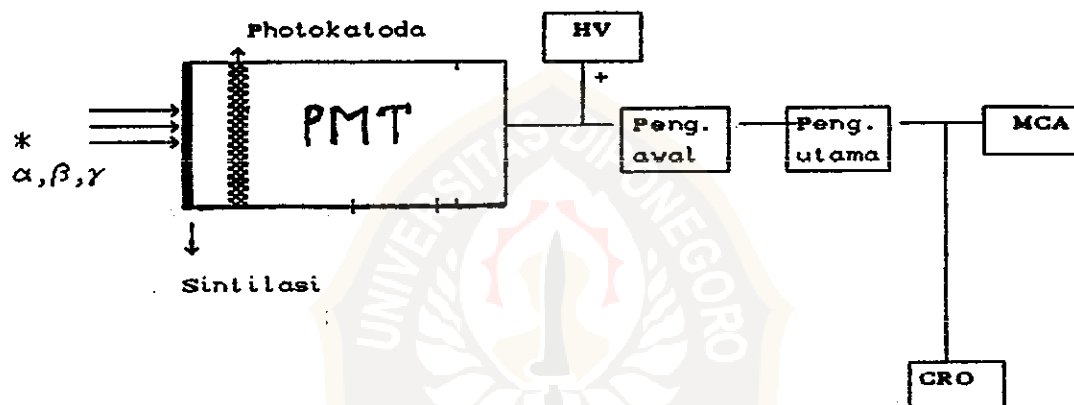
Dari persamaan (2.12) dapat diketahui efisiensi detektor yaitu :

$$\eta = \frac{N}{A \cdot t} \quad (2.14)$$

Untuk menghitung efisiensi detektor dapat dilakukan dengan menggunakan rumus (2.14) dengan beberapa faktor koreksi seperti pada lampiran C.

Tinggi pulsa keluaran dari PMT sekitar 20 mV, untuk dapat dianalisa diperlukan penguat. Penguatan dilakukan 2

tahap. Penguatan pertama untuk memperkuat tegangan atau arusnya dengan penguat awal (preamplifier). Sesudah tegangannya cukup, kemudian diperkuat secara linier dengan penguat utama. Dengan sistem penguat tersebut akan diperoleh tinggi pulsa dalam orde volt yang selanjutnya dapat dianalisa dengan MCA.



Gambar 9: Bagan sistem uji detektor sintilasi

II.5 Mekanisme Sintilator Organik

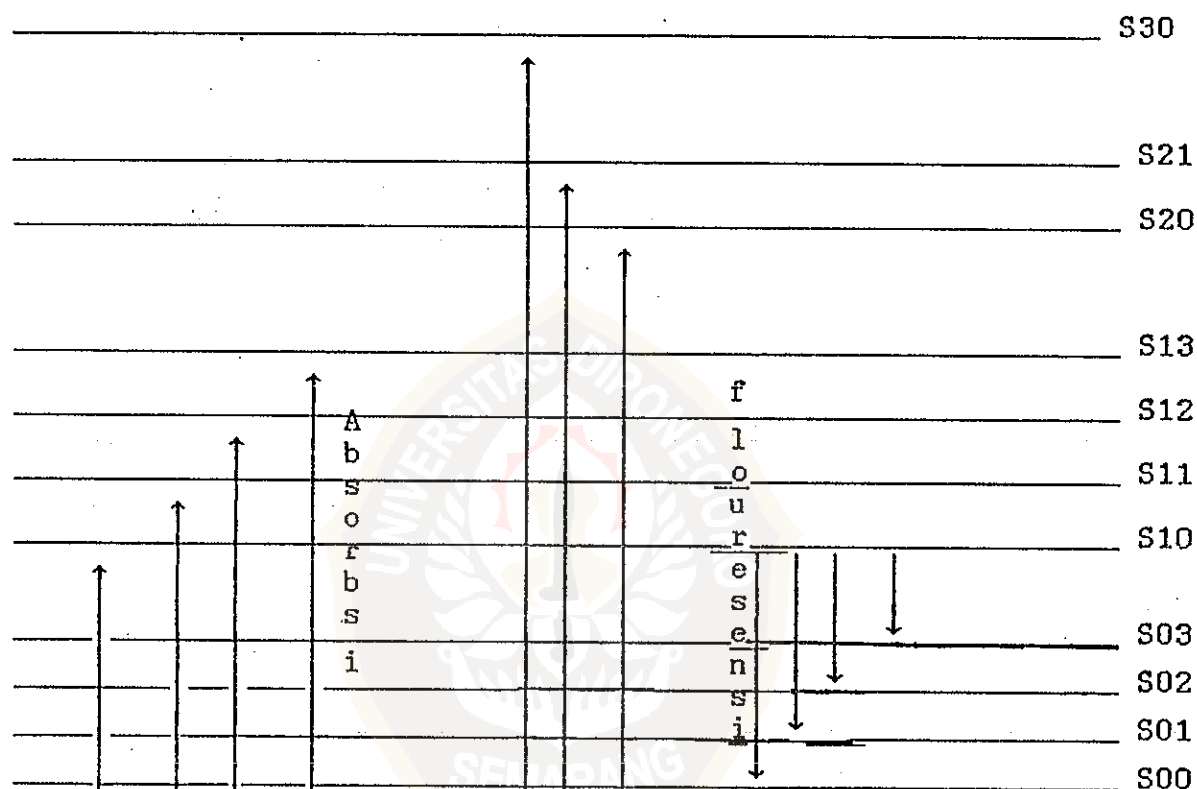
Detektor sintilasi bekerja berdasarkan prinsip eksitasi molekul. Jika bahan sintilator dikenai zarah radiasi maka akan menimbulkan pendaran cahaya⁽¹²⁾.

Dalam bahan organik, flouresensi terjadi karena adanya tingkat tenaga molekul tunggal. Ini dapat dilihat dengan terjadinya flouresensi pada bahan organik tanpa tergantung keadaan fisiknya, apakah berbentuk monokristal, polikristal atau dalam bentuk cairan yang merupakan bagian dari larutan⁽¹²⁾.

Umumnya bahan organik yang digunakan sebagai sintilator mempunyai struktur elektron tertentu. Tingkat-tingkat tenaga struktur elektron digambarkan dalam gambar 9. Penyerapan tenaga yang digambarkan dengan arah panah ke atas, mengakibatkan susunan elektron dalam keadaan tereksitasi ke salah satu tingkat eksitasi. Bila elektron tereksitasi ke tingkat yang lebih tinggi dari tingkat S_1 , maka keadaan ini akan segera mengalami de-eksitasi ke tingkat S_1 . Demikian juga bila tereksitasi ke tingkat S_{11} atau S_{12} , juga akan kembali ke tingkat S_{10} .

Sehingga dapat dikatakan seluruh proses flouresensi yang terjadi dalam bahan organik, terjadi karena adanya transisi dari S_{10} ke S_0 . Proses flouresensi ini digambarkan

dengan arah panah ke bawah. Adapun waktu yang diperlukan untuk peluruhan fluoresensi tingkat S_{10} bahan organik umumnya berorde nanosekon.⁽⁹⁾



Gambar 9 : Tingkat-tingkat tenaga bahan organik dengan struktur elektron.

Beberapa bahan organik yang dapat dipakai sebagai sintilator dapat dilihat pada tabel 1. Bahan organik (aromatik) yang sering digunakan untuk mendeteksi zarah Beta antara lain Antrasen dan Stilbene. Sebagai bahan

sintilator, senyawa organik mempunyai keuntungan yaitu tidak diperlukannya bahan lain sebagai aktivator fluoresensi sebagaimana halnya sintilator anorganik NaI dan ZnS yang masing-masing memerlukan Tl dan Ag sebagai aktivator. Hal ini dikarenakan beda tenaga antara tingkat S_0 dan S_1 sekitar 3 eV sampai dengan 4 eV⁽⁹⁾. Perbedaan lain antara sintilator organik dan sintilator anorganik adalah waktu tanggapnya. Sintilator organik mempunyai waktu tanggap kurang dari 10 ns, sedangkan sintilator anorganik jauh lebih besar dari 1 ms. Oleh karena itu sintilator organik baik untuk pengukuran dengan intensitas tinggi.

Bahan	Spektrum Emisi (nm)	Indeks bias	Waktu meluruh (ns)	Cahaya hasil*
Antrasen	380-445	1,59	25	100%
Stilbene	360-460	1,62	77	73%
Naphtalen	300-365	1,58	75	15%
Terpenyl	415	—	12	55%

Catatan : * dinyatakan relatif terhadap Antrasen

Tabel 1: Beberapa bahan organik sebagai sintilator dan sifat-sifatnya.

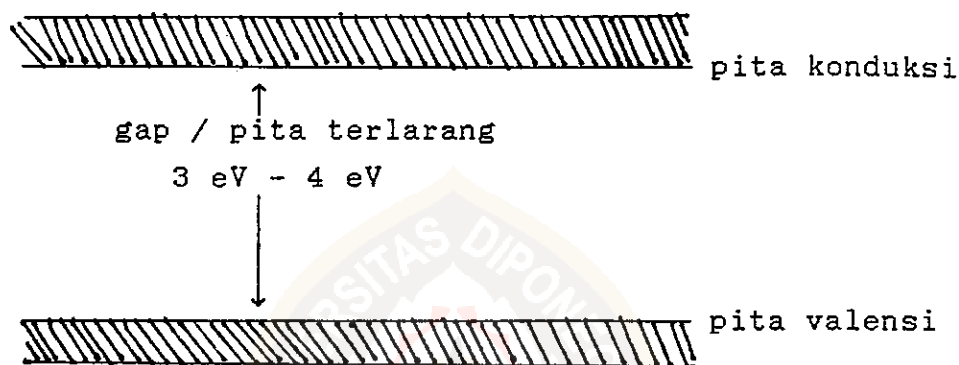
II.6 Detektor Sintilasi dengan Sintilator Antrasen

Bahan sintilasi atau sintilator adalah suatu bahan yang akan mengeluarkan cahaya bila dikenai radiasi. Dalam percobaan ini sintilator yang dipakai adalah antrasen ($C_{14}H_{10}$) yang peka terhadap radiasi β . Banyaknya foton cahaya yang ditimbulkan oleh sintilator adalah sebanding dengan tenaga radiasi yang datang. Dengan sifat inilah maka detektor sintilasi dapat digunakan untuk mengukur tenaga radiasi zarah yang mengenai sintilator tersebut. Pada umumnya untuk setiap satu zarah yang mengenai sintilator akan menimbulkan foton-foton cahaya yang banyaknya berbanding langsung dengan tenaga radiasi.

Pada Antrasen, dikenal suatu tingkat-tingkat tenaga. (pita energi), antara lain pita valensi dan pita konduksi. Pada pita valensi, elektron dalam keadaan terikat, sedangkan pada pita konduksi elektron memiliki energi yang cukup sehingga dapat bergerak bebas. Diantara kedua pita tersebut terdapat sela (gap) yang disebut pita terlarang. Pada antrasen daerah tersebut tidak terdapat elektron.

Bila elektron pada pita valensi menyerap tenaga, maka elektron tersebut akan berpindah ke pita konduksi (peristiwanya disebut eksitasi). Pada antrasen elektron yang telah tereksitasi ke pita konduksi tersebut akan

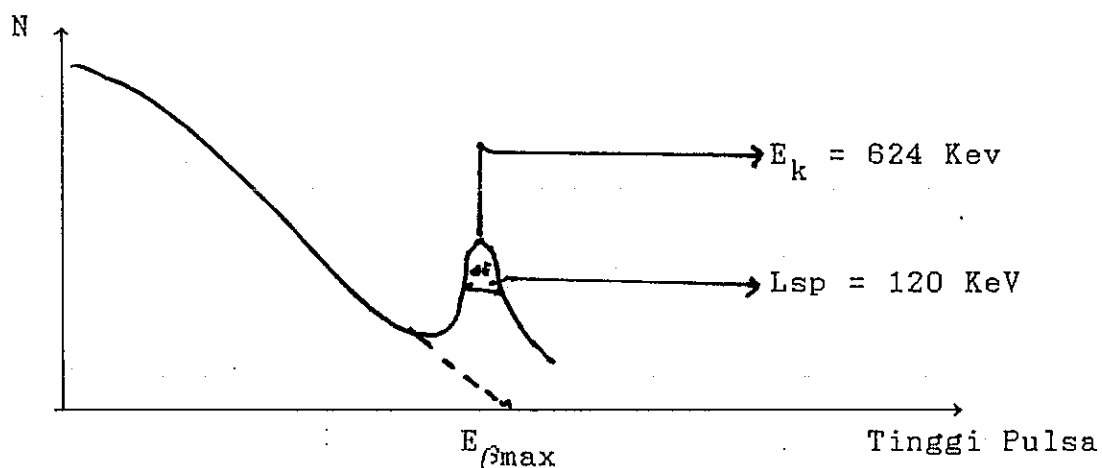
kembali ke pita valensi dengan memancarkan foton (peristiwanya disebut De-eksitasi). Untuk dapat terjadi pemancaran foton selama proses de-eksitasi, pada antrasen tidak perlu ditambahkan bahan lain sebagai aktivator, karena beda tenaga antara pita valensi dan pita konduksi hanya 3 eV sampai 4 eV.



Gambar 10 : Tingkat-tingkat tenaga pada Antrasen

Pada gambar 11 diberikan contoh spektrum tenaga β dari sumber Cs^{137} (5).

Pada gambar 11, spektrum tenaganya bersifat grafik menurun, kemudian ada grafik berupa gunung. Spektrum bentuk gunung ini berasal dari elektron konversi, yaitu elektron lepasan dari orbit K atom Cs^{137} yang terkena radiasi γ dari inti, jadi seperti efek fotolistrik. tenaga elektron konversi adalah bersifat diskrit, berharga tunggal.



Gambar 11 : Spektrum tenaga β dan elektron konversi dari Cs^{137} dengan detektor sintilator Antrasen

Tenaga elektron konversi dapat ditentukan dari persamaan tenaga efek fotolistrik:

$$E_k = E_\gamma - E_i \quad (2.15)$$

dengan:

E_γ dari $\text{Cs}^{137} = 662 \text{ keV}$

E_i = Tenaga ikat elektron orbit K = 38 keV

Maka tenaga elektron konversinya adalah 624 keV.

Bila tinggi pulsa pada gunung elektron konversi ini sudah diukur, maka tenaga β nya dapat ditentukan. Karena

grafik tenaga β bersifat menerus (kontinu), disini hanya dapat dihitung tenaga β maksimumnya yaitu pada titik tenaga β dimana cacah radiasinya mendekati nol. Perhitungan secara interval grafis ini bersifat pendekatan, karena tidak dapat secara tepat menentukan dimana grafik β yang kontinu tersebut mendekati titik nol.

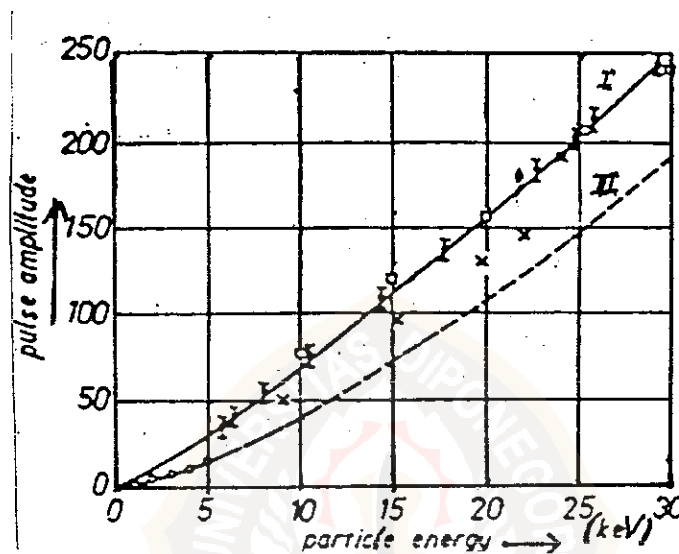
II.7 Karakteristik Antrasen

Antrasen merupakan kristal organik yang paling banyak digunakan untuk pembuatan sintilator. Antrasen mempunyai efisiensi terbesar diantara kristal organik lainnya, dimana efisiensi adalah kemampuan sintilator untuk mengubah radiasi menjadi foton cahaya. Karena sifat itulah, maka antrasen digunakan sebagai pembanding efisiensi kristal organik yang lain.

Untuk antrasen, waktu mati bertambah secara perlahan dengan naiknya temperatur. Kristal organik antrasen menunjukkan pertambahan waktu mati bila tidak dilewati oleh partikel bermuatan. Dengan adanya kenaikan temperatur itu dapat menaikkan tinggi pulsa di dalam photomultiplier tube (PMT)⁽⁷⁾.

Tinggi pulsa dari absorpsi partikel γ antara 10 keV sampai 20 keV grafiknya mendekati linier, hubungan tersebut

terutama untuk elektron pada kristal (gambar 12 kurva 1). Jika elektron pada kristal tidak dikenai radiasi secara langsung, maka pada energi 50 keV grafiknya tidak linier lagi (gambar 12 kurva 2)⁽⁷⁾.



Gambar 12: Tinggi pulsa pada Antrasen sebagai fungsi energi dari absorpsi partikel γ (kurva 1) dan elektron (kurva 2).

Sifat-sifat dari Antrasen yang lain adalah⁽⁸⁾:

- Massa Rumus : 178,22
- Rapat Masa : 1,25 gram/cm³
- Titik Leleh : 217 °C
- Titik Didih : 340 °C
- Panas jenis pada 50 °C : 0,308 cal/g°C