

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. Struktur Atom

Struktur atom serupa dengan sistem tata surya, yaitu terdiri dari sebuah inti atom yang dikelilingi oleh satu atau lebih elektron yang bergerak mengitarinya. Ruji atom mempunyai besaran sekitar  $10^{-8}$  cm, sedang inti atom hanya mempunyai ruji sekitar  $10^{-13}$  cm atau hampir 100.000 kali lebih kecil dari ruji atom (Susetyo, 1988).

##### 2.1.1. Inti atom

Massa sebuah atom hampir semuanya terpusat pada inti atom dengan rapat inti atom  $10^{14}$  g.cm<sup>-3</sup>. Inti atom terutama terdiri atas dua zarah yang disebut *proton* dan *neutron* dan kedua zarah tersebut disebut *nukleon*. Kedua penyusun inti atom tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

##### 1) Proton

Proton adalah zarah yang bermuatan listrik positif sebesar satu catu muatan listrik yaitu  $1,602 \times 10^{-19}$  coulomb. Massa proton ( $m_p$ ) adalah  $1,67261 \times 10^{-24}$  g. Cacah proton dalam inti atom dilambangkan dalam huruf Z dan disebut sebagai nomor atom.

##### 2) Neutron

Neutron adalah penyusun inti atom yang tidak mempunyai muatan listrik. Massa diam sebuah neutron ( $m_n$ ) hampir sama dengan massa

sebuah proton yaitu sebesar  $1,67492 \times 10^{-24}$  g. Cacah neutron dalam inti atom biasa dilambangkan dengan huruf N.

### 2.1.2. Elektron

Elektron adalah zarah yang bermuatan listrik negatif, sebesar satu catu muatan listrik yaitu  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  coulomb atau sama dengan muatan proton. Massa diam sebuah elektron ( $m_0$ ) sebesar  $9,10956 \times 10^{-31}$  kg. Keberadaan elektron terhadap inti dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1) Orbital

Elektron bergerak mengitari inti pada orbital-orbital tertentu. Orbital-orbital tersebut mewakili tingkat-tingkat energi tertentu dalam sistem atom. Orbital-orbital sering disebut juga kulit elektron. Orbital pertama yang paling dekat dengan inti dinamakan kulit K, orbital kedua dinamakan kulit L dan seterusnya.

#### 2) Eksitasi

Apabila suatu elektron pindah dari suatu tenaga ke tingkat tenaga yang lebih tinggi elektron tersebut akan menyerap tenaga. Peristiwa ini disebut eksitasi dan atom itu dikatakan ada dalam keadaan tereksitasi (*excited state*). Elektron yang tereksitasi akan segera berusaha kembali ke keadaan semula (keadaan dasar), sembari memancarkan energi.

#### 3) Ionisasi

Apabila tenaga dari luar yang tersedia untuk mengeksitasi elektron dapat mengatasi tenaga ikat inti terhadap elektron, maka

elektron akan terlepas keluar dari sistem atom. Peristiwa ini disebut sebagai proses *ionisasi*. Atom yang kehilangan elektronnya disebut ion dan bermuatan positif sebanyak elektron yang dilepaskan. Tenaga minimum yang diperlukan untuk melepaskan sebuah elektron dari suatu atom netral disebut potensial ionisasi pertama unsur tersebut.

### 2.1.3. Isotop

Inti atom tersusun atas sejumlah proton dan neutron. Atom-atom suatu unsur dengan cacah proton sama tetapi cacah neutron yang berbeda-beda disebut isotop. Isotop-isotop suatu unsur ada yang stabil dan ada yang tidak stabil atau bersifat radioaktif. Isotop radioaktif dinamakan radioisotop. Dari sekitar 105 unsur yang dikenal pada saat ini diketahui adanya sekitar 1525 isotop. Dari jumlah ini, 325 di antaranya adalah isotop alam dan 1200 sisanya adalah isotop buatan. Dari 325 isotop alam, 51 diantaranya bersifat radioaktif sedangkan semua isotop buatan bersifat radioaktif (Susetyo, 1988).

### 2.1.4. Nuklida

Bilangan yang menunjukkan jumlah cacah proton dan cacah neutron dalam suatu inti atom disebut nomor massa dan diberi lambang huruf A. Dalam tata cara penulisan, nomor massa A dicantumkan disebelah kiri atas lambang unsur, sedang nomor atom Z dicantumkan disebelah kiri bawah, yaitu  ${}^A_ZX$  (Susetyo, 1988).

Oleh karena massa atom, inti atom dan partikel penyusun inti atom sangat kecil, maka untuk menyatakan massa, digunakan ukuran massa sangat kecil, *satuan*

massa atom disingkat "sma" (*atomic mass unit=amu*), dengan massa atom  $^{12}\text{C}$  sebagai standar, yaitu 12.000.000 sma (Tsoulfanidis, 1980),

$$1 \text{ sma} = 1/12 \times \text{massa } ^{12}\text{C} = 1,66 \times 10^{-24} \text{ g.}$$

*Elektron-volt (eV)* merupakan satuan energi ukuran kecil yang banyak dijumpai di dalam fisika radiasi. Satu eV adalah energi yang diperoleh elektron setelah melintasi medan listrik dengan beda potensial satu volt (Cember, 1983).

$$1 \text{ eV} = 1,606 \times 10^{-19} \text{ joule.}$$

## 2. 2. Radioaktivitas dan Radiasi

*Radioaktivitas* adalah gejala perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah dan atau gelombang elektromagnetik. Perubahan dalam inti atom akan mengubah suatu nuklida menjadi nuklida lain atau dari satu unsur menjadi unsur lain. Peristiwa ini disebut disintegrasi inti atau peluruhan radioaktif. Gejala radioaktivitas ini semata-mata ditentukan oleh inti atom yang bersangkutan, tidak dapat dipengaruhi, dipercepat atau diperlambat dengan mengubah kondisi eksternal (seperti suhu, tekanan dan lain-lain). Peristiwa radioaktif merupakan peristiwa acak murni yang tunduk pada kaidah-kaidah statistik (Susetyo, 1998).

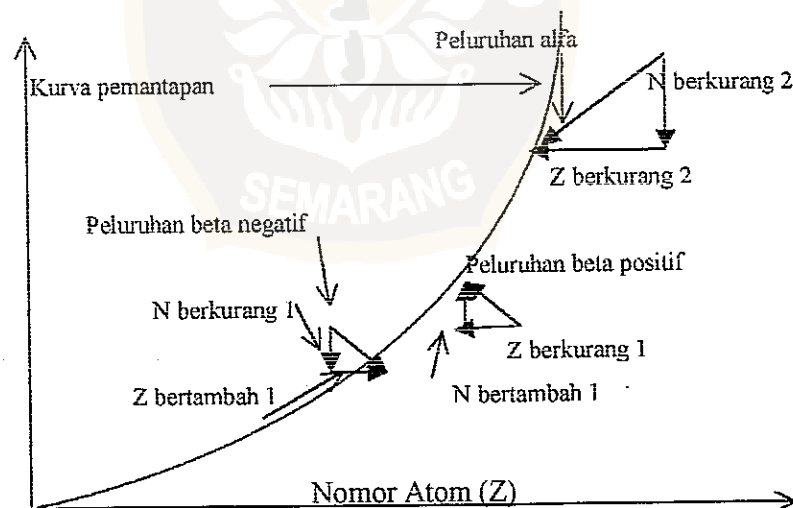
Radioaktivitas adalah pemancaran sinar-sinar radioaktif dari unsur-unsur radioaktif sebagai sumber pemancar. Jenis radiasinya antara lain sinar- $\alpha$ , sinar- $\beta$ , sinar- $\gamma$ , sinar-X dan radiasi neutron. Inti atom yang dapat memancarkan radiasi (bersifat radioaktif) disebut *radionuklida*. Gejala radioaktivitas disebabkan oleh ketidakstabilan inti atom akibat perbandingan nilai N/Z (perbandingan jumlah

neutron dan proton pada inti atom) yang lebih besar atau lebih kecil dari suatu nilai  $(N/Z)_{\text{stabil}}$  atau nomor atom yang terlalu besar ( $Z > 83$ ). Nilai  $N/Z$  suatu inti atom sangat menentukan kestabilan inti tersebut dan menentukan apakah suatu inti bersifat radioaktif atau tidak (Beiser dalam Sasongko, 1997).

Nuklida-nuklida stabil pada diagram N-Z membentuk lokasi yang sangat teratur, kurva stabilitas nuklida, mulai dari  $N/Z = 1$  untuk nuklida ringan, hingga  $N/Z = 1,5$  untuk nuklida berat (lihat gambar 1).

Nuklida-nuklida tidak stabil alami ataupun yang diproduksi di dalam reaktor nuklir, di atas atau di bawah kurva stabilitas nuklida, meluruh menuju lokasi stabilitas nuklida dengan memancarkan sinar radioaktif sehingga dinamakan nuklida radioaktif.

Dilihat dari lokasi nuklida tidak stabil dalam diagram N-Z dan jenis sinar radioaktif yang dipancarkan, dikenal tiga macam peluruhan yaitu peluruhan  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ .



Gambar 1. Kurva Stabilitas dan Lokasi Nuklida Tidak Stabil pada Diagram N-Z (modifikasi Beiser, 1990).

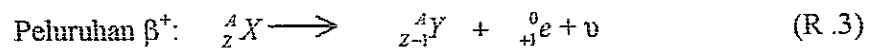
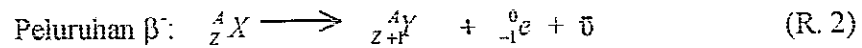
Radiasi yang dipancarkan senyawa radioaktif memiliki tenaga yang sangat kuat sehingga mampu mengionisasi (radiasi ionisasi). Ionisasi ini dipercaya sebagai penyebab utama kerusakan pada protoplasma. Kemampuan daya tembus berbanding terbalik dengan konsentrasi ionisasi dan penyebab kerusakan lokal. Semakin besar daya tembusnya, konsentrasi ionisasi dan kerusakan lokalnya berkurang. Dilihat dari kemampuan daya tembus sinar-sinar radioaktif, maka urutan kekuatan daya tembusnya adalah sinar- $\gamma$ , sinar- $\beta$ , sinar- $\alpha$ . (Odum dalam Sasongko, 1997).

Peluruhan alfa memancarkan partikel  $\alpha$ , yaitu partikel bermuatan positif dari inti atom yang terdiri dari dua proton dan dua neutron. Oleh karena partikel  $\alpha$  memiliki sifat sama dengan inti helium, maka dinyatakan dengan simbol  ${}^4_2\text{He}$ . Nuklida radioaktif yang melakukan peluruhan  $\alpha$ , kehilangan dua proton dan dua neutron membentuk nuklida baru. Apabila nuklida radioaktif sebelum peluruhan  $\alpha$  dinyatakan dengan  ${}^A_Z\text{X}$ , maka setelah peluruhan  $\alpha$  menjadi nuklida baru  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ , dengan reaksi inti :



Apabila rumus peluruhan  $\alpha$  ditelaah melalui diagram N-Z, akan terlihat bahwa lokasi nuklida baru bergeser dua satuan ke kiri dan dua satuan ke bawah menuju kurva stabilitas nuklida sesuai dengan perubahan harga N/Z nuklida tersebut. Jika nuklida radioaktif yang berada di bawah garis stabilitas nuklida, melalui peluruhan  $\alpha$  dimungkinkan terbentuk nuklida stabil.

Pada proses peluruhan  $\beta$ , ada dua macam sinar  $\beta$  yang bisa dipancarkan dari inti atom yaitu sinar  $\beta^-$  yang sifat dan massanya sama dengan elektron dan sinar  $\beta^+$  yang massanya sama dengan elektron tapi bermuatan positif, disebut positron. Partikel  $\beta^-$  dinyatakan dengan  ${}_{-1}^0e$  dan partikel  $\beta^+$  dinyatakan dengan  ${}_{+1}^0e$ , peristiwa peluruhannya ditulis dengan persamaan reaksi inti (Beiser, 1990):



Pada proses peluruhan  $\beta^-$  nuklida radioaktif  ${}_Z^AX$  berubah menjadi nuklida  ${}_{Z+1}^AY$  atau di dalam nuklida terjadi penambahan satu proton dan pengurangan satu neutron, sehingga dikatakan peluruhan  $\beta^-$  di dalam nuklida terjadi perubahan neutron menjadi proton. Pada proses peluruhan  $\beta^+$ , nuklida  ${}_Z^AX$  berubah menjadi  ${}_{Z-1}^AY$  atau di dalam inti terjadi pengurangan satu proton dan penambahan satu neutron, sehingga dikatakan bahwa peluruhan  $\beta^+$  di dalam nuklida terjadi perubahan proton menjadi neutron.

Apabila peluruhan  $\beta$  ditelaah melalui diagram N-Z, maka akan terlihat bahwa saat peluruhan  $\beta^-$  lokasi dari nuklida baru bergeser satu satuan ke bawah dan satu satuan ke kanan, dan peluruhan  $\beta^+$ , lokasi nuklida baru bergeser satu satuan ke kiri dan satu satuan ke atas. Sehingga nuklida radioaktif yang berada di sebelah kiri kurva stabilitas nuklida, melalui peluruhan  $\beta^-$ , berubah menjadi nuklida stabil. Demikian pula nuklida radioaktif yang berada di sebelah kanan

kurva stabilitas nuklida melalui peluruhan  $\beta^+$  dimungkinkan berubah menjadi nuklida stabil.

Peluruhan  $\gamma$  memancarkan sinar- $\gamma$  yang merupakan radiasi elektromagnetik, terjadi pada nuklida yang berada dalam keadaan tereksitasi yaitu nuklida yang mempunyai tingkat energi di atas tingkat terendahnya. Tingkat energi terendah adalah energi ikat total dari nuklida stabil. Eksitasi terjadi saat nuklida yang melakukan peluruhan  $\alpha$  dan  $\beta$ , dan  $\gamma$  untuk mencapai tingkat energi dasar atau keadaan stabil, melakukan pelepasan energi melalui peluruhan  $\gamma$ . Jika dilihat pada diagram N-Z tidak terjadi perubahan letak nuklida, karena tidak terjadi perubahan jumlah proton maupun neutron melainkan hanya terjadi perubahan tingkat energi. Nuklida radioaktif yang melakukan peluruhan  $\gamma$  ditulis dengan reaksi (Beiser, 1990),



Beberapa sifat khusus tiga macam sinar radioaktif adalah : partikel  $\alpha$  berupa inti atom helium bermuatan listrik positif sebesar dua kali muatan elektron, daya ionisasinya sangat besar sekitar 100 kali daya ionisasi sinar beta dan 10.000 kali daya ionisasi sinar  $\gamma$ , jarak jangkauannya di udara sekitar 3,4 – 8,6 cm bergantung pada energi sinar  $\alpha$ , karena bermuatan listrik maka berkas partikelnya dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik, partikel  $\alpha$  dipancarkan dari nuklida radioaktif dengan kecepatan berkisar 0,01 – 0,1 kali kecepatan cahaya.

Sinar- $\beta$  dibedakan menjadi dua macam yaitu sinar  $\beta^-$  yang terdiri dari elektron dan  $\beta^+$  yang terdiri dari positron, daya ionisasinya 0,01 kali daya ionisasi



partikel  $\alpha$ , kecepatannya 0,01 – 0,99 kali kecepatan cahaya, karena sangat ringan partikel  $\beta$  mudah sekali dihamburkan jika melewati udara dan dibelokkan jika melewati medan magnet atau medan listrik. Sinar- $\gamma$  adalah radiasi elektromagnetik dari foton energi tinggi, dipancarkan dari nuklida tereksitasi dengan panjang gelombang 0,005 Å-0,5 Å daya ionisasinya sangat kecil, daya tembusnya sangat besar dibanding partikel  $\alpha$  atau  $\beta$ , kemampuannya menghasilkan fluoresensi dan menghitamkan plat film lebih besar dibanding partikel  $\alpha$  atau  $\beta$ .

Peluruhan radioaktif memenuhi hukum persamaan eksponensial atau hukum peluruhan. Peluruhan bukan kejadian yang terjadi serentak atau bersamaan, melainkan peristiwa statistik dari sejumlah nuklida yang tidak mungkin diramalkan nuklida mana yang meluruh saat detik berikutnya. Mengingat kebolehjadian terjadinya peluruhan setiap nuklida dalam waktu  $dt$  detik adalah  $\lambda dt$ , dimana  $\lambda$  adalah suatu konstanta peluruhan. Apabila  $N_t$  adalah jumlah nuklida sebelum meluruh dalam waktu  $dt$ , maka dapat ditulis,

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.1)$$

Dengan  $N_0$  adalah jumlah nuklida radioaktif pada saat  $t = 0$ ,  $N_t$  adalah jumlah nuklida radioaktif saat  $t$ .

Aktifitas radiasi ( $A$ ) adalah besaran yang menyatakan jumlah peluruhan per detik, yang secara matematis ditulis (Beiser, 1990),

$$A_t = \lambda N_0 \quad (2.2)$$

dengan  $A_t$  adalah aktivitas radiasi saat  $t$ .

Analog dengan persamaan 2. 2,  $A_0$  adalah aktivitas sumber radiasi saat  $t = 0$  ditulis,

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (2.3)$$

Oleh karena  $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$  dan  $A_t = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$ , maka diperoleh hubungan,

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa aktivitas sumber radiasi berkurang secara eksponensial terhadap waktu.

Waktu paro ( $t_{1/2}$ ) yaitu interval waktu yang dibutuhkan radioaktif sehingga aktivitasnya berkurang menjadi setengah dari aktivitas semula. Oleh karena itu, maka:

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.5)$$

Dalam sistem Satuan Internasional (SI) aktivitas radiasi dinyatakan dalam satuan *becquerel* (Bq) yang didefinisikan sebagai,

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ disintegrasi per detik (dps)}$$

Satuan lain yang sering digunakan adalah *curie* (Ci) yang didefinisikan sebagai,

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Radiasi radioaktif (Co-60) yang melewati suatu materi akan mengalami proses interaksi yaitu efek fotolistrik dan hamburan Compton.

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

elektron terikat kuat maka elektron akan menyerap seluruh tenaga foton- $\gamma$ . Sebagai akibatnya elektron akan dipancarkan keluar dari atom dengan tenaga gerak sebesar selisih tenaga foton- $\gamma$  dengan tenaga ikat elektron,

$$E_c = E_\gamma - W \quad (2.6)$$

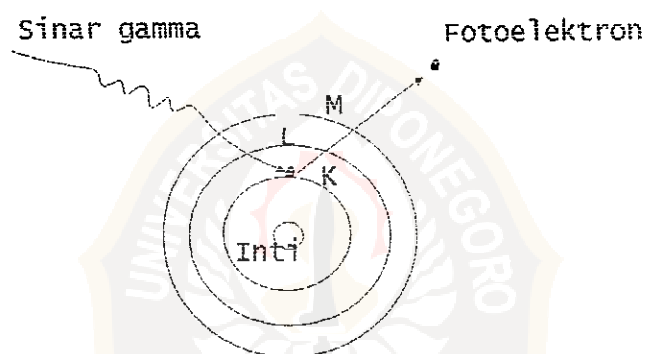
dengan,

$E_c$  adalah tenaga kinetik elektron

$E_\gamma$  adalah tenaga foton- $\gamma$

$W$  adalah tenaga ikat elektron

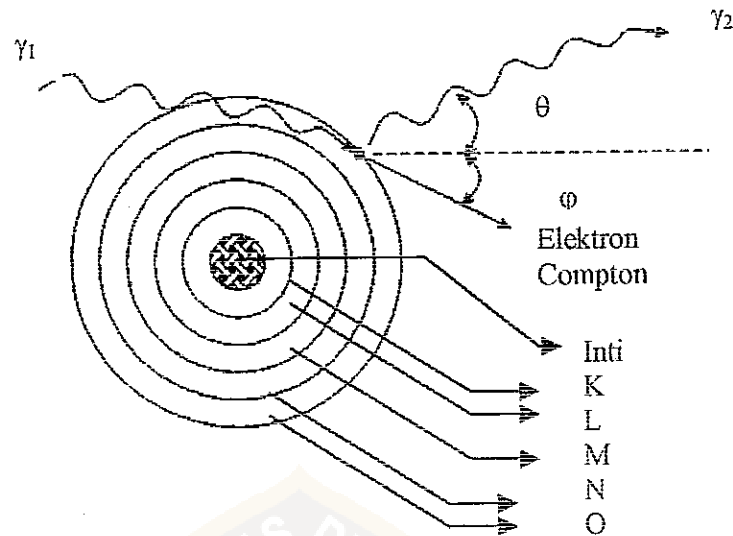
Elektron yang dipancarkan itu disebut *fotoelektron*. Efek fotolistrik secara skematis digambarkan sebagai berikut



Gambar 2. Efek fotolistrik (Susetyo, 1988)

Hamburan Compton terjadi antara foton- $\gamma$  dengan elektron bebas atau yang terikat lemah yaitu elektron yang berada pada kulit terluar suatu atom. Apabila foton- $\gamma$  menumbuk elektron jenis ini maka berdasarkan hukum kekekalan momentum tidak mungkin elektron akan dapat menyerap seluruh tenaga foton- $\gamma$  seperti yang terjadi pada efek fotolistrik. Foton- $\gamma$  hanya akan menyerahkan

sebagian tenaganya kepada elektron dan kemudian terhambur menurut sudut hambur  $\theta$  terhadap arah gerak foton- $\gamma$  mula-mula. Tumbukan dalam hamburan Compton dapat dianggap sebagai tumbukan kenyal,



Gambar 3. Hamburan Compton (Susetyo, 1988)

Elektron yang dilepaskan disebut *elektron Compton*. Tenaga sinar- $\gamma$  yang terhambur setelah tumbukan merupakan fungsi tenaga- $\gamma$  mula-mula dan sudut hamburan,

$$E_{\gamma} = E_0 / (1 + (E_0/m_0c^2)(1 - \cos \theta)) \quad (2.7)$$

dengan,

$E_{\gamma}$  adalah tenaga sinar- $\gamma$  terhambur

$\theta$  adalah sudut hamburan

$E_0$  adalah tenaga sinar- $\gamma$  mula-mula

$m_0$  adalah massa diam elektron

$c$  adalah laju cahaya dalam hampa

Berdasarkan hukum kekekalan tenaga, tenaga elektron Compton  $E_c$  adalah selisih antara sinar- $\gamma$  mula-mula dan sinar- $\gamma$  terhambur,

$$E_c = E_o - E_\gamma \quad (2. 8)$$

Efek fotolistrik dan hamburan Compton terjadi karena interaksi antara sinar- $\gamma$  dengan elektron dalam atom materi.

Apabila  $I_o$  adalah intensitas sinar- $\gamma$  yang datang saat suatu permukaan materi dan  $I_x$  adalah intensitas sinar- $\gamma$  yang berhasil menembus lapisan setebal  $x$  materi, maka terjadi pengurangan intensitas. Hubungan  $I_o$  dan  $I_x$  adalah (Beiser, 1990),

$$I_x = I_o e^{-\mu x} \quad (2. 9)$$

Dengan  $\mu$  disebut koefisien penyerapan linier, karena  $\mu$  tidak memiliki satuan, maka jika  $x$  dalam cm, maka  $\mu$  harus dalam  $\text{cm}^{-1}$ .

Mengingat penyerapan sinar- $\gamma$  (radionuklida Co-60) ditentukan kedua proses utama tersebut, maka koefisien linier total :

$$\mu_t = \mu_f + \mu_c \quad (2. 10)$$

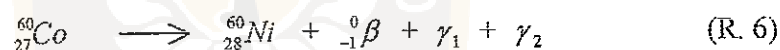
dengan  $\mu_t$  adalah koefisien penyerapan linier total, sedangkan  $\mu_f$  dan  $\mu_c$  adalah masing-masing koefisien penyerapan linier efek fotolistrik dan hamburan Compton.

### 2.3. Pesawat Teleterapi Co-60

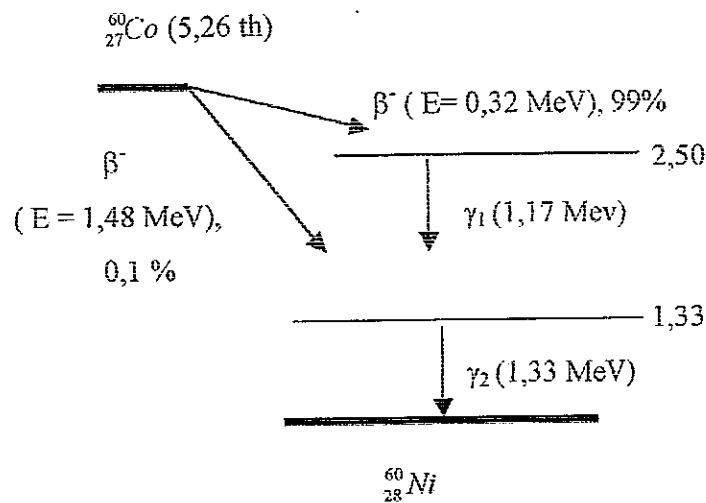
#### 2.2.1. Sumber radiasi

Pesawat teleterapi Co-60 (pesawat teleterapi gamma), adalah alat yang mengandung radioisotop Co-60 sebagai pemancar- $\gamma$  dan digunakan untuk radioterapi dengan jarak sumber ke obyek yang disinari relatif jauh (Wasisto dkk, 1990).

Radioisotop Co-60 (umur paro 5,272 tahun) diproduksi dalam reaktor nuklir dengan cara membombardir Co-59 stabil dengan pertikel neutron (Khan, 1994). Setelah diperoleh radioisotop Co-60, radioisotop ini akan memancarkan  $\beta$  dan  $\gamma$  menuju ke keadaan stabil. Proses peluruhan Co-60 menjadi  $^{60}_{28}\text{Ni}$  disertai emisi- $\beta$  dengan energi 0,32 MeV dan radiasi- $\gamma$  dengan energi 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV, menurut persamaan reaksi:



Secara diagramatik, proses peluruhan Co-60 menjadi Ni-60 disajikan pada Gb. 5:



Gambar 4. Peluruhan Co-60 (Khan, 1994)

Proses peluruhan Co-60 menjadi  $^{60}_{28}\text{Ni}$  disertai emisi  $-\beta$  dengan energi 0,32 MeV dan radiasi- $\gamma$  dengan energi 1,1732 MeV dan 1,3325 MeV. Partikel  $\beta$  yang mempunyai daya tembus terbatas, tidak mampu menembus wadah sumber dan diserap bahan Co-60 dan *stainless steel capsul* sehingga radiasi yang keluar dari sumber radiasi relatif terdiri dari foton  $\gamma$ .

Sumber radiasi Co-60 berbentuk batang silinder padat terselubung di dalam *stainless steel capsul*. Kapsul dimasukkan ke dalam kapsul yang disegel dengan las, sehingga kekuatannya relatif aman. Kapsul sumber radiasi disekrup di dalam sebuah lubang pada tepi roda yang berputar saat sebuah sumbu. Dalam kedudukan *OFF*, kapsul sumber radiasi dalam keadaan terlindung di dalam wadah. Pada waktu *ON* sebuah *elektromotor* saat sistem pengendali radiasi memutar sumbu roda pemegang sumber, sehingga sumber radiasi bergerak ke mulut muara berkas

radiasi. Sistem pengendali radiasi diatur melalui pengaturan waktu dari panel kontrol di luar ruang pesawat teleterapi Co-60 (Wasisto dkk, 1990).

### 2.2.2. Wadah sumber

Wadah sumber biasa disebut *headsource* dan ada yang menyebutnya *sourcehousing*, dibuat dari bahan *uranium* dan *lead* yang dirancang sedemikian rupa berfungsi sebagai perisai (*shielding*) sehingga terjamin keamanan dari kebocoran radiasi bagi setiap petugas yang berada di sekitarnya dan terjamin untuk dapat tahan api jika terjadi kebakaran (Anonymous, 1994).

Wadah sumber dibuat sedemikian rupa, sehingga dalam kedudukan radiasi *ON* laju paparan radiasi saat jarak satu meter dari sumber tidak lebih dari 0,1 % dari laju paparan berkas radiasi sinar guna, dan saat kondisi sumber tertutup, *OFF* laju paparan dosis radiasi tidak mencapai rata-rata 2 mR/jam dan maksimal 10 mR/jam (Wasisto, 1990).

### 2.2.3. Detektor

Detektor yang digunakan adalah model *Ionization chamber* yang peka radiasi sehingga mampu merespon sejumlah radiasi yang mengenainya (Khan,1994). Setiap bahan akan berinteraksi dan sensitif terhadap jenis radiasi tertentu, sehingga suatu bahan memiliki karakteristik sebagai bahan detektor (Andreo dkk, 1987). Selain itu detektor hanya mampu mendeteksi energi radiasi tertentu, sehingga suatu ketika dibutuhkan untuk mendeteksi radiasi dengan energi yang berbeda maka harus digunakan detektor lain.

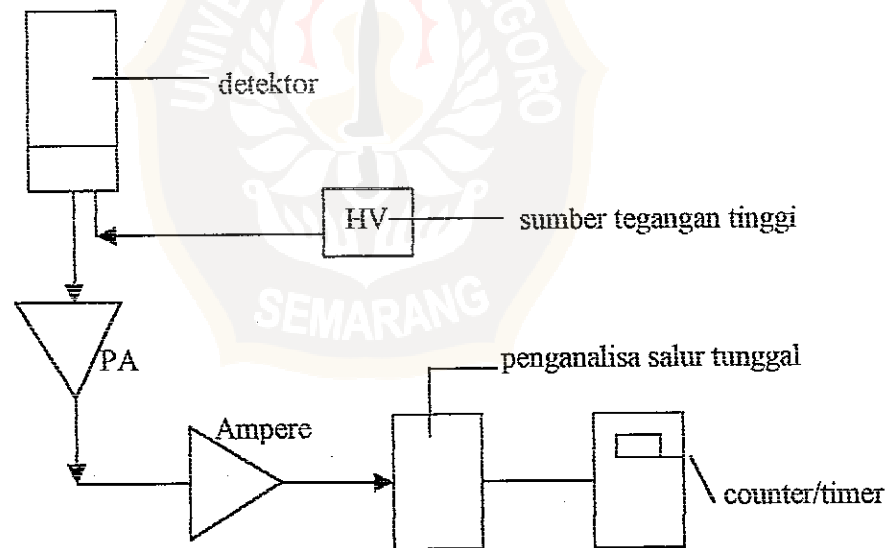


Farmer pada tahun 1955 berhasil menciptakan detektor yang mampu mendeteksi sinar-X dan sinar- $\gamma$  yang dimanfaatkan di radioterapi dan detektor tersebut disebut *Dosimeter Farmer*.

*Dosimeter Farmer* bekerja berdasarkan prinsip bilik pengionan udara bebas, detektornya berbentuk tudung, *thimble chamber* dengan dinding *graphit* murni dan pusat elektrode terbuat dari *aluminium* murni, bahan penyekatnya *polytricholorofluorethylene* (PTCFE) (Khan, 1994).

#### 2.2. 4. Elektrometer

Peralatan penunjang alat ukur dosimeter berupa perangkat elektrometer yang merupakan peralatan elektronik berpungsi merubah respon detektor menjadi suatu informasi yang dapat dinilai atau diamati (Gambar 5).



Gambar 5. Pencacah  $\gamma$  (Susetyo, 1998).

Interaksi radiasi foton dengan detektor akan menghasilkan sinyal pulsa yang tingginya bersesuaian dengan tenaga radiasi foton yang mengenai detektor. Mula-mula pulsa yang dihasilkan detektor akan diperkuat dan dibentuk dalam penguat awal dan kemudian dalam penguat. Pulsa yang dikeluarkan oleh penguat dikirim menuju alat penganalisis tinggi pulsa. Selanjutnya pulsa yang telah dibentuk dan diperkuat dikirim menuju suatu alat yang dapat memilah-milah pulsa menurut tingginya (diskriminator) dan diteruskan pada alat cacah yang akan menghitung semua pulsa yang dikeluarkan sesuai jangka waktu yang telah ditetapkan sebelumnya.

#### 2. 2. 5 Besaran dan Satuan Dosis

Penyinaran (*Exposure*) didefinisikan sebagai kemampuan radiasi sinar-X atau sinar- $\gamma$  untuk menimbulkan ionisasi di udara. Satuannya adalah *röntgen* (R), dengan 1 R adalah besarnya penyinaran yang menyebabkan terbentuknya muatan listrik sebesar 1 esu (*electro-static unit*) pada suatu elemen volume udara sebesar 1 cc, dalam kondisi temperatur dan tekanan normal.

$$X = dQ/dm \quad (2. 11)$$

dengan dQ adalah jumlah muatan pasangan ion yang terbentuk di suatu elemen volume udara bermassa dm.

Dalam satuan Internasional, penyinaran berdimensi satuan muatan per satuan massa, yaitu  $\text{Ckg}^{-1}$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Ckg}^{-1}$$

Dosis ( $D$ ) dinyatakan sebagai jumlah energi radiasi yang diserap oleh materi tiap satuan massa.

$$D = d\epsilon/dm \quad (2.12)$$

dengan  $d\epsilon$  adalah energi rata-rata yang menyebabkan ionisasi terhadap  $dm$  massa materi.

Dosis dalam satuan SI adalah  $\text{Jkg}^{-1}$  dan secara khusus diberi nama *gray* (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1}$$

Dosis rata-rata atau yang disebut juga laju dosis,  $\dot{D}$  (huruf  $D$  dengan titik di atasnya),

$$\dot{D} = dD/dt \quad (2.13)$$

Satuan laju dosis adalah  $\text{Jkg}^{-1}\text{s}^{-1}$

$$1 \text{ Gy} \cdot \text{s}^{-1} = 1 \text{ Jkg}^{-1}\text{s}^{-1}$$

*Kinetik energy released in material* (Kerma) didefinisikan sebagai,

$$K = dE_r/dm \quad (2.14)$$

Dengan  $dE_r$  adalah jumlah energi kinetik seluruh muatan yang dibebaskan oleh interaksi ionisasi partikel tidak bermuatan dalam massa  $dm$ .

Satuan kerma adalah  $\text{Jkg}^{-1}$  dengan nama khusus *gray* (Gy). Besaran kerma dapat dipakai untuk semua bahan.

### 2.2.6. Laju Dosis

Laju dosis ( $\dot{D}$ ) adalah jumlah energi radiasi yang diserap oleh bahan atau materi per satuan massa dan waktu. Dalam penelitian ini untuk penghitungan laju dosis radionuklida Co-60 menggunakan analogi persamaan:

$$\dot{D}_t = \dot{D}_0 e^{-\lambda t} \quad (2.15)$$

dengan:

$\dot{D}_t$  = laju dosis pada saat t

$\dot{D}_0$  = laju dosis pada saat t = 0

$\lambda$  = konstanta peluruhan radionuklida Co-60

t = waktu dari t = 0 sampai t (tahun).

