

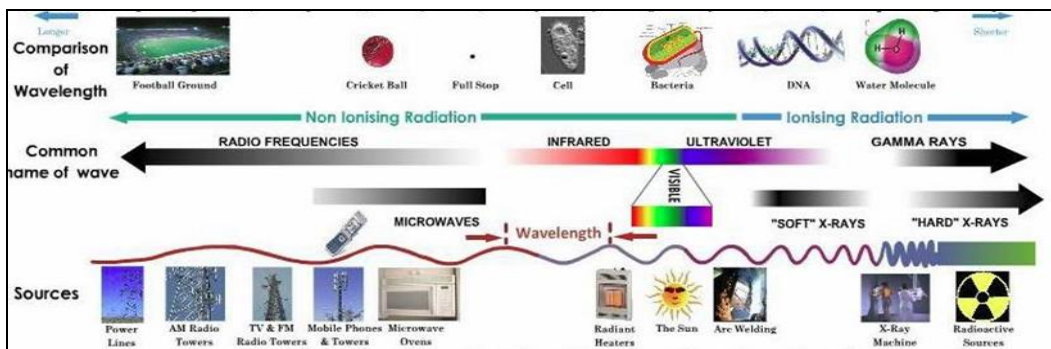
## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB II STRUKTUR ATOM DAN INTI ATOM.....</b>	<b>5</b>
A. Struktur Atom .....	5
B. Inti Atom.....	7
<b>BAB III PELURUHAN RADIOAKTIF .....</b>	<b>13</b>
A. Jenis Peluruhan .....	13
B. Aktivitas Sumber Radioaktif .....	16
C. Umur paro .....	18
D. Skema Peluruhan.....	20
E. Panjang Gelombang dan Energi Radiasi .....	21
<b>BAB IV INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI .....</b>	<b>25</b>
A. Interaksi Partikel Alpha .....	25
B. Interaksi Partikel Beta .....	28
C. Interaksi Sinar Gamma atau Sinar-X.....	30
D. Interaksi Radiasi Neutron.....	34
E. Sifat Radiasi .....	38
<b>BAB V SUMBER RADIASI .....</b>	<b>41</b>
A. Sumber Radiasi Alam .....	41
B. Sumber Radiasi Buatan .....	43
<b>RANGKUMAN.....</b>	<b>49</b>
<b>SOAL LATIHAN.....</b>	<b>53</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>56</b>
<b>Lampiran 1. Sistem Periodik Unsur .....</b>	<b>57</b>
<b>Lampiran 2. Sebagian Tabel Nuklida .....</b>	<b>58</b>
<b>Lampiran 3. Peluruhan berantai U-238 dan Th-232 .....</b>	<b>59</b>



## BAB I PENDAHULUAN

Secara definisi, radiasi diartikan sebagai pancaran dan perambatan energi melalui materi atau ruang dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel. Radiasi dibedakan atas radiasi pengion dan radiasi bukan pengion. Radiasi pengion ada yang berupa radiasi gelombang elektromagnetik, yaitu radiasi gamma, sinar-X, dan ada yang berupa radiasi partikel, yaitu alpha, beta, dan neutron. Sedangkan radiasi bukan pengion antara lain perambatan panas, perambatan cahaya, dan perambatan gelombang radio. Spektrum radiasi pengion dan non pengion yang berupa gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada gambar I.1.



Sumber: <http://rfemissions.skmm.gov.my/Understanding-RF/What-is-Radio-Frequency-RF.aspx>

Gambar II.1 Spektrum gelombang elektromagnetik

Radiasi pengion banyak digunakan untuk berbagai macam keperluan di bidang industri, misalnya untuk pengujian radiografi, dan di bidang kesehatan, misalnya untuk pengobatan kanker. Aplikasi radiasi pengion tersebut pada prinsipnya adalah berdasarkan interaksi antara radiasi dengan materi. Untuk dapat mengoptimalkan aplikasi radiasi pengion dan menjamin keselamatan pada saat bekerja, pemahaman terhadap radiasi, mulai dari proses terjadinya, karakteristik serta interaksinya dengan materi, sangat penting bagi personil yang menggunakannya.

Mata pelajaran Dasar Fisika Radiasi merupakan materi dasar pada pelatihan proteksi radiasi yang ditujukan untuk memberikan pengetahuan dasar mengenai asal usul terjadinya radiasi serta interaksinya dengan materi. Dengan memiliki pengetahuan yang memadai dalam materi ini, peserta akan lebih mudah untuk memahami materi pelajaran yang lain, seperti alat ukur radiasi, dosimetri dan karakteristik operasi dalam pemanfaatan aplikasi teknologi nuklir.

Pembahasan materi ini dibagi menjadi 4 bab, Bab II membahas struktur atom dan inti atom yang merupakan dasar untuk memahami fenomena peluruhan radioaktif. Jenis peluruhan radioaktif dan karakteristiknya dibahas secara detil pada Bab III, sedangkan interaksi radiasi dengan materi, yang mencakup interaksi radiasi alpha, radiasi beta, radiasi sinar-X/gamma, dan neutron dibahas pada Bab IV. Pada bab terakhir, Bab V, dibahas beberapa jenis sumber radiasi alam dan prinsip kerja dari beberapa sumber radiasi buatan.

Setelah mempelajari materi ini, peserta memiliki kompetensi dasar untuk menjelaskan konsep dasar fisika radiasi, yang meliputi proses terjadinya radiasi, proses peluruhan inti atom, sifat, jenis dan interaksi radiasi dengan materi, dengan indikator keberhasilan mampu:

1. menggambarkan struktur atom berdasarkan model atom Bohr
2. menguraikan proses transisi elektron
3. membedakan pengertian istilah isotop, isobar, isoton, dan isomer;
4. menentukan kestabilan inti atom berdasarkan tabel nuklida;
5. menguraikan mekanisme produksi sinar-X karakteristik dan *bremstrahlung*;
6. menyebutkan jenis peluruhan radioaktif dan sifat radiasi yang dipancarkan;
7. menghitung aktivitas radionuklida berdasarkan konsep waktu paro;
8. menguraikan proses interaksi radiasi alpha dan beta dengan materi;

9. menguraikan proses interaksi radiasi gamma dan sinar-X dengan materi;
10. menguraikan proses interaksi neutron dengan materi;
11. menjelaskan perbedaan sumber radiasi alam dan buatan

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB II

### STRUKTUR ATOM DAN INTI ATOM

#### A. Struktur Atom

Semua materi yang ada di alam ini tersusun dari jutaan molekul, sedangkan molekul terdiri dari beberapa atom. Sebagai contoh, air terdiri dari molekul-molekul  $H_2O$ , sedang sebuah molekul  $H_2O$  terdiri dari dua buah atom hidrogen (dengan lambang H) dan sebuah atom oksigen (dengan lambang O).

**Atom** didefinisikan sebagai bagian terkecil dari suatu materi yang masih memiliki sifat dasar materi tersebut. Atom mempunyai ukuran sekitar  $10^{-10}$  m atau 1 angstrom ( $= 1 \text{ \AA}$ ). Istilah lain yang sering digunakan untuk menyatakan jenis atom adalah unsur. Berbagai jenis unsur tertera pada tabel periodik (lihat lampiran I).

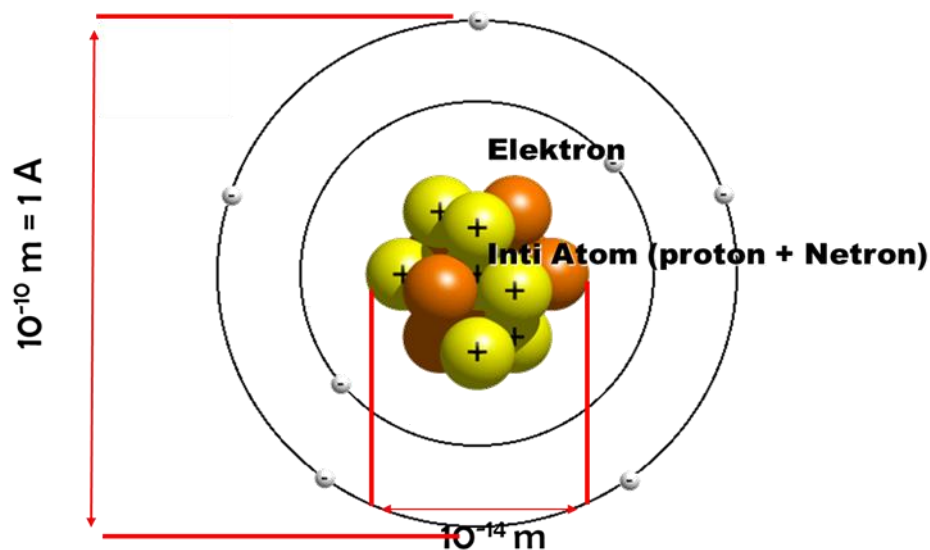
Struktur atom adalah suatu pemodelan yang menggambarkan susunan inti dan elektron pada suatu atom. Struktur atom yang paling sering digunakan adalah model atom Bohr karena sederhana dan dapat menjelaskan banyak hal.

**Model Atom Bohr** menggambarkan bahwa atom terdiri atas inti atom dan elektron-elektron yang mengelilingi inti atom dengan lintasan-lintasan atau kulit-kulit tertentu (lihat Gambar II.1).

Karakteristik dari partikel elementer penyusun atom dapat dilihat pada tabel II.1.

Tabel II.1 Nilai muatan dan massa dari partikel elementer

Partikel	Muatan Listrik		Massa	
	Coulomb	Elementeer	kg	Sm1
Elektron	$-1,6 \times 10^{-19}$	-1	$9,1 \times 10^{-31}$	0
Proton	$+1,6 \times 10^{-19}$	+1	$1,67 \times 10^{-27}$	1
Neutron	0	0	$1,67 \times 10^{-27}$	1



Gambar II.1. Model Atom Bohr

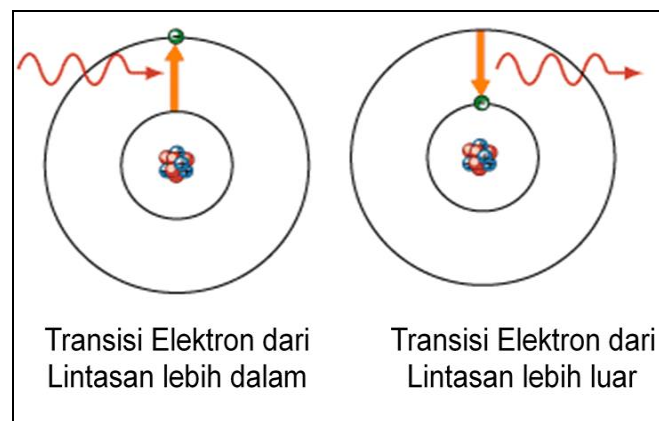
Suatu jenis atom yang sama mempunyai jumlah proton yang sama, sebaliknya atom yang berbeda memiliki jumlah proton yang berbeda. Sebagai contoh, unsur hidrogen (H) mempunyai sebuah proton, sedangkan unsur emas (Au) mempunyai 79 buah proton. Setiap jenis atom diberi suatu nomor –yang disebut sebagai nomor atom– berdasarkan jumlah proton yang dimilikinya. Sebagai contoh, nomor atom dari unsur hidrogen adalah 1 sedangkan nomor atom dari unsur emas adalah 79.

Elektron pada yang ada pada setiap lintasan mempunyai tingkat energi tertentu. Semakin luar lintasan elektron, semakin tinggi tingkat energi elektronnya. Secara alami elektron-elektron di dalam atom akan menempati lintasan elektron yang lebih dalam sampai terisi penuh sesuai kapasitasnya. Lintasan elektron yang paling dalam dinamakan lintasan K, lintasan berikutnya L, dan seterusnya. Jumlah elektron yang dapat menempati setiap lintasan dibatasi oleh suatu aturan tertentu, yaitu maksimum berjumlah  $2 \times n^2$ , dengan  $n$  adalah nomor lintasan elektron. Berdasarkan aturan tersebut, maka Lintasan K ( $n = 1$ ) hanya dapat ditempati oleh dua buah electron, sedang lintasan L ( $n = 2$ ) dapat ditempati delapan elektron, dst.



Atom berada dalam keadaan stabil bila setiap lintasan sebelah dalam berisi penuh dengan elektron sesuai dengan kapasitasnya. Sebaliknya, bila suatu lintasan elektron masih belum penuh tetapi terdapat elektron di lintasan yang lebih luar, maka atom tersebut dikatakan tidak stabil. Sebagai contoh suatu atom yang tidak stabil adalah bila lintasan K dari suatu atom hanya berisi sebuah elektron sedang pada lintasan L berisi enam elektron. Elektron yang berada pada lintasan tersebut pada kondisi tertentu dapat berpindah ke lintasan lainnya.

Perpindahan elektron dari satu lintasan ke lintasan yang lain disebut sebagai **transisi elektron**. Bila transisi tersebut berasal dari lintasan yang lebih luar ke lintasan yang lebih dalam, maka akan dipancarkan energi, sebaliknya untuk transisi dari lintasan dalam ke lintasan yang lebih luar dibutuhkan energi, seperti ditunjukkan pada gambar II.2



Gambar II.2. Transisi Elektron

## B. Inti Atom

Inti atom, yang disebut juga nuklida atau nuklir, terdiri atas proton dan neutron yang disebut sebagai nukleon (partikel penyusun inti atom). Jumlah proton dan jumlah neutron di dalam inti atom tidak selalu sama. Oleh karena itu suatu unsur (jenis atom) yang sama mungkin saja terdiri atas inti atom yang berbeda, yaitu bila jumlah protonnya sama tetapi jumlah neutronnya

berbeda. Inti atom merupakan bagian dari atom yang memiliki massa terbesar (masif) yang berukuran sekitar  $10^{-14}$  m atau  $10^{-4}$  Å (lihat gambar II.1).

### 1. Identifikasi Inti Atom (Nuklida)

Nuklida atau jenis inti atom yang ada di alam ini jauh lebih banyak daripada unsur, karena unsur yang sama mungkin saja terdiri atas nuklida yang berbeda. Jenis unsur dituliskan dengan lambang atomnya, misalnya unsur emas adalah Au dan unsur besi adalah Fe. Sedangkan penulisan suatu nuklida atau jenis inti atom harus diikuti dengan jumlah neutronnya sebagaimana konvensi penulisan sebagai berikut.



X adalah simbol atom, Z adalah nomor atom yang menunjukkan jumlah proton di dalam inti atom, sedang A adalah nomor massa yang menunjukkan jumlah nukleon (jumlah proton + jumlah neutron). Meskipun tidak dituliskan pada simbol nuklida, jumlah neutron dapat dituliskan sebagai N dengan hubungan

$$N = A - Z$$

Sebagai contoh nuklida  ${}_2\text{He}^4$  adalah inti atom helium (He) yang mempunyai dua buah proton ( $Z = 2$ ) dan dua buah neutron ( $N = A - Z = 2$ ).

Cara penulisan nuklida tersebut di atas merupakan konvensi atau kesepakatan saja dan bukan suatu ketentuan sehingga masih terdapat beberapa cara penulisan yang berbeda. Salah satu cara penulisan lain yang sering dijumpai adalah tanpa menuliskan nomor atomnya seperti berikut ini.

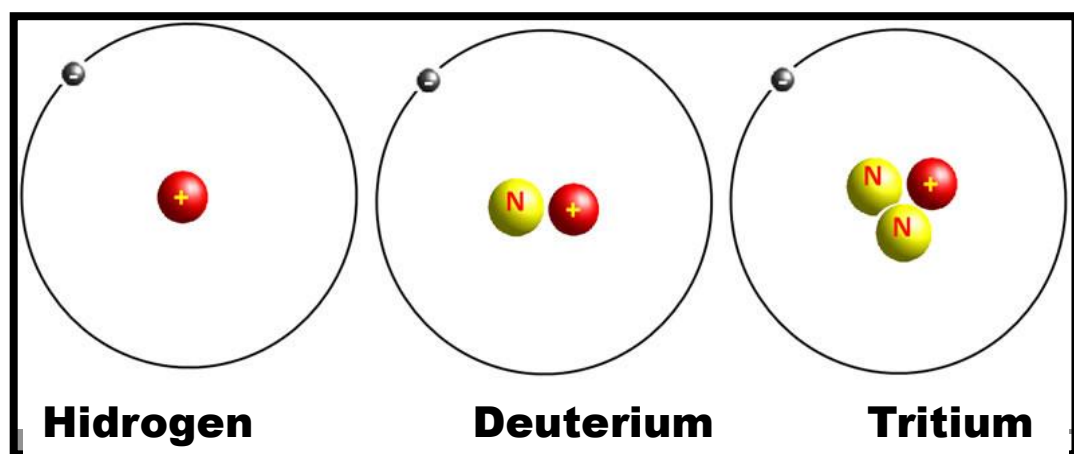


Contohnya nuklida  $\text{He}^4$  atau He-4 dan  $\text{Co}^{60}$  atau Co-60. Nomor atom tidak dituliskan karena dapat diketahui dari jenis atomnya. Setiap atom yang berbeda akan memiliki jumlah proton yang berbeda sehingga nomor atomnya pun berbeda (Lihat tabel periodik di Lampiran I).

Berdasarkan komposisi jumlah proton dan jumlah neutron di dalam inti atom terdapat beberapa istilah yang berkaitan dengan nuklida yaitu, isotop, isobar, isoton dan isomer.

**Isotop** adalah nuklida-nuklida yang mempunyai nomor atom (jumlah proton, Z) sama, tetapi mempunyai nomor massa (jumlah proton+neutron, A) berbeda.

Jadi, setiap unsur mungkin saja terdiri atas beberapa jenis nuklida yang sama. Sebagai contoh, unsur hidrogen mempunyai isotop  ${}^1\text{H}^1$ ;  ${}^1\text{H}^2$ ;  ${}^1\text{H}^3$ . seperti digambarkan pada gambar II.3

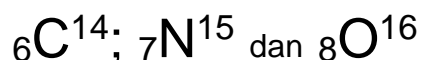


Gambar II.3 Isotop Hidrogen

**Isobar** adalah nuklida-nuklida yang mempunyai nomor massa (jumlah proton + neutron, A) sama, tetapi mempunyai nomor atom (jumlah proton, Z) berbeda.



**Isoton** adalah nuklida-nuklida yang mempunyai jumlah neutron sama, tetapi mempunyai nomor atom (jumlah proton, Z) berbeda



**Isomer** adalah nuklida-nuklida yang mempunyai nomor atom maupun nomor massa sama, tetapi mempunyai tingkat energi yang berbeda

Inti atom yang memiliki tingkat energi lebih tinggi daripada tingkat energi dasarnya biasanya diberi tanda *asterisk* (\*) atau *m* di belakang nomor massanya dengan cara penulisan sebagai berikut:



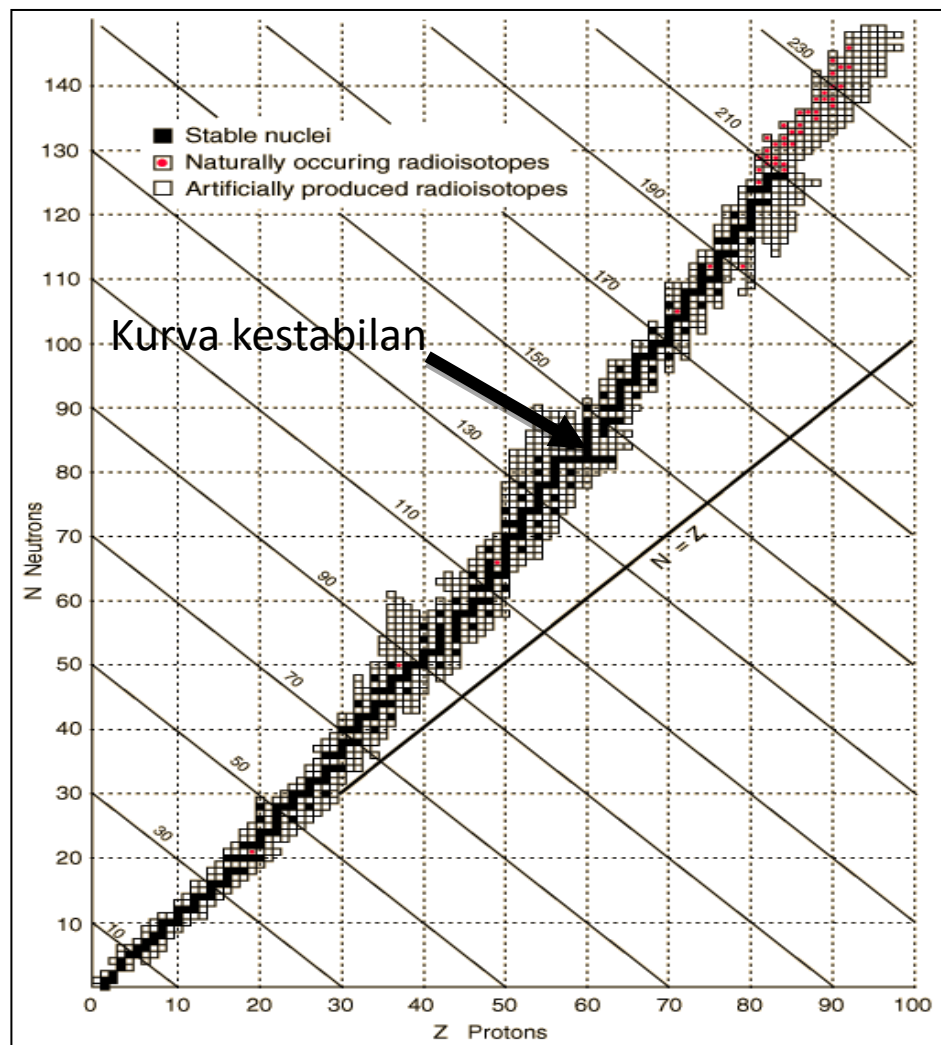
Kedua nuklida tersebut di atas mempunyai jumlah proton dan jumlah neutron yang sama tetapi tingkat energinya berbeda. Tingkat energi  $\text{Ni}^{60}$  berada pada keadaan dasarnya, sedang  $\text{Ni}^{60*}$  tidak pada keadaan dasarnya dan dikatakan dalam keadaan tereksitasi (*excited-state*) atau *meta-stable*.

## 2. Kestabilan Inti Atom

Inti dikatakan stabil jika inti tersebut tidak memancarkan radiasi dan tidak mengalami peluruhan secara spontan, sedangkan dikatakan tidak stabil jika inti tersebut memancarkan radiasi secara spontan. Faktor paling dominan yang menentukan kestabilan inti adalah perbandingan antara neutron dan proton di dalam inti dan energi ikat inti. Untuk menentukan kestabilan inti digunakan gambar II.4, yang merupakan plot antara jumlah neutron dan jumlah proton dalam inti.

Inti atom stabil bila perbandingan jumlah proton dan neutronnya berada pada kurva kestabilan serta tingkat energinya berada pada keadaan dasar. Sedangkan inti atom tidak stabil bila perbandingan jumlah proton dan neutronnya diluar kurva kestabilan atau tingkat energinya tidak berada pada keadaan dasar.

Gambar II.4 menunjukkan posisi (koordinat dari jumlah proton dan jumlah neutron) dari nuklida yang stabil. Bila posisi suatu nuklida tidak berada pada posisi sebagaimana kurva kestabilan maka nuklida tersebut tidak stabil. Secara umum, kestabilan inti-inti ringan terjadi bila jumlah protonnya sama dengan jumlah neutronnya, yang dapat terlihat bahwa posisi nuklida berhimpit dengan garis  $n = Z$ . Untuk inti berat, kestabilan terjadi bila jumlah neutron mendekati 1,5 kali jumlah protonnya.

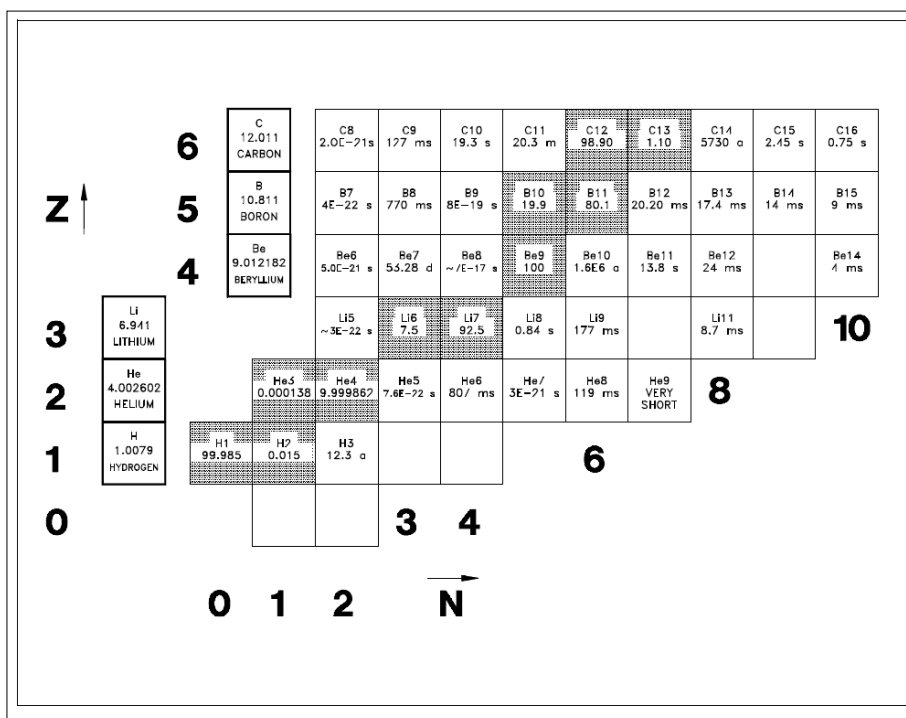


Sumber: <http://kaffee.50webs.com/Science/activities/Chem/Activity.Isotopes.Table.htm>

Gambar II.4. Plot perbandingan jumlah neutron dan proton untuk isotop stabil

Gambar II.5, yang disebut sebagai tabel nuklida (lihat Lampiran 2), merupakan gambar kurva kestabilan (Gambar II.4) yang lebih rinci. Dari tabel

nuklida tersebut, kotak yang diarsir gelap menunjukkan posisi dari nuklida yang stabil sedang kotak lainnya adalah nuklida yang tidak stabil. Sebagai contoh C-12 ( ${}^6\text{C}^{12}$ ) adalah nuklida yang stabil sedangkan nuklida C lainnya (C-14; C-15 dan seterusnya) tidak stabil. Nuklida-nuklida yang tidak stabil (kotak tidak diarsir gelap) disebut sebagai radionuklida.



Sumber: [http://knowledgepublications.com/doi/doi\\_nuclear\\_physics\\_detail.htm](http://knowledgepublications.com/doi/doi_nuclear_physics_detail.htm)

Gambar II.5. Nuklida stabil dan nuklida tidak stabil pada table nuklida.

Isotop yang tidak stabil dan memancarkan radiasi disebut radioisotop atau radionuklida. Bahan atau material yang memancarkan radiasi disebut zat radioaktif. Proses perubahan atau transformasi inti atom yang tidak stabil menjadi atom yang stabil tersebut dinamakan peluruhan radioaktif. Proses peluruhan radioaktif seringkali harus melalui beberapa tingkatan *intermediate* (antara) sebelum menjadi inti atom yang stabil. Peluruhan seperti itu dinamakan peluruhan berantai.

## BAB III

### PELURUHAN RADIOAKTIF

Inti atom yang tidak stabil akan berubah secara spontan menjadi inti atom yang lebih stabil dengan memancarkan radiasi. Proses perubahan tersebut dinamakan peluruhan radioaktif (*radioactive decay*), dan akan menghasilkan pancaran energi yang dapat berupa partikel atau gelombang elektromagnetik.

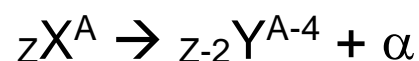
#### A. Jenis Peluruhan

Jenis peluruhan yang terjadi pada suatu zat radioaktif bergantung dari penyebab ketidakstabilan inti yang terjadi. Peluruhan yang disebabkan ketidakstabilan inti akibat komposisi jumlah proton dan neutron yang tidak seimbang akan memancarkan radiasi alpha ( $\alpha$ ) atau radiasi beta ( $\beta$ ). Sedangkan ketidakstabilan yang disebabkan karena tingkat energinya yang tidak berada pada keadaan dasar, maka akan berubah dengan memancarkan radiasi gamma ( $\gamma$ ).

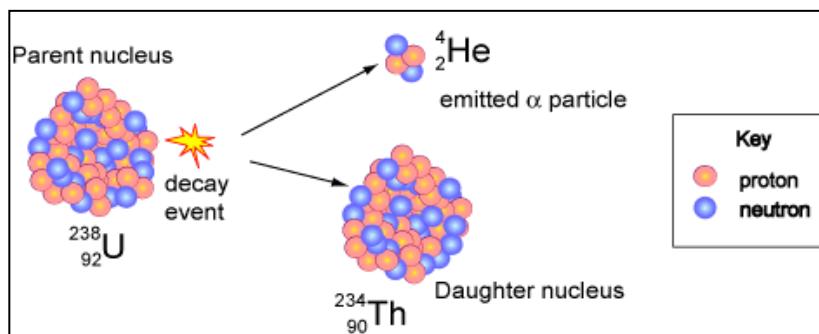
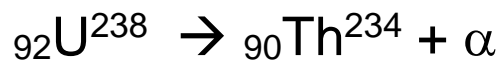
#### 1. Peluruhan Alpha ( $\alpha$ )

Peluruhan alpha dominan terjadi pada inti-inti tidak stabil yang relatif berat (nomor atom  $> 80$ ). Dalam peluruhan ini akan dipancarkan partikel alpha yaitu suatu partikel yang terdiri atas dua proton dan dua neutron, yang berarti mempunyai massa 4 sma dan muatan 2 muatan elementer positif. Partikel alpha secara simbolik dinyatakan dengan simbol  ${}_2\text{He}^4$ . Radionuklida yang melakukan peluruhan alpha akan kehilangan dua proton dan dua neutron serta membentuk nuklida baru.

Peristiwa peluruhan alpha ini dapat dituliskan secara simbolik melalui reaksi inti sebagai berikut:



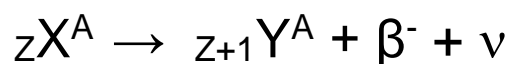
Contoh peluruhan partikel Alpha yang terjadi di alam adalah:



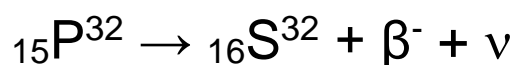
## 2. Peluruhan Beta ( $\beta$ )

Peluruhan  $\beta$  terjadi pada inti tidak stabil yang relatif ringan. Pada peluruhan ini akan dipancarkan partikel beta yang mungkin bermuatan negatif ( $\beta^-$ ) atau bermuatan positif ( $\beta^+$ ). Sedangkan Partikel beta negatif ( $\beta^-$ ) identik dengan elektron sedangkan partikel beta positif identik dengan elektron yang bermuatan positif (positron). Pada diagram N-Z, peluruhan beta negatif ( $\beta^-$ ) terjadi bila nuklida tidak stabil berada di atas kurva kestabilan sedangkan peluruhan beta positif ( $\beta^+$ ) terjadi bila nuklidanya berada di bawah kurva kestabilan. Dalam proses peluruhan beta negatif ( $\beta^-$ ) terjadi perubahan neutron menjadi proton di dalam inti atom.

Proses peluruhan  $\beta$  dapat dituliskan sebagai persamaan inti berikut.

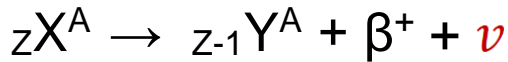


Contoh peluruhan  $\beta^-$  adalah





Sedangkan dalam proses peluruhan beta positif ( $\beta^+$ ) terjadi perubahan proton menjadi neutron di dalam inti atom sehingga proses peluruhan ini dapat dituliskan sebagai persamaan inti berikut.



Contoh peluruhan  $\beta^+$  adalah

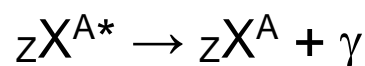


Neutrino ( $\nu$ ) dan antineutrino ( $\bar{\nu}$ ) adalah partikel yg tidak bermassa tetapi berenergi yg selalu mengiringi peluruhan  $\beta$ .

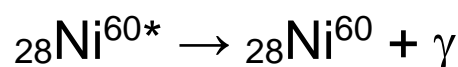
### 3. Peluruhan Gamma ( $\gamma$ )

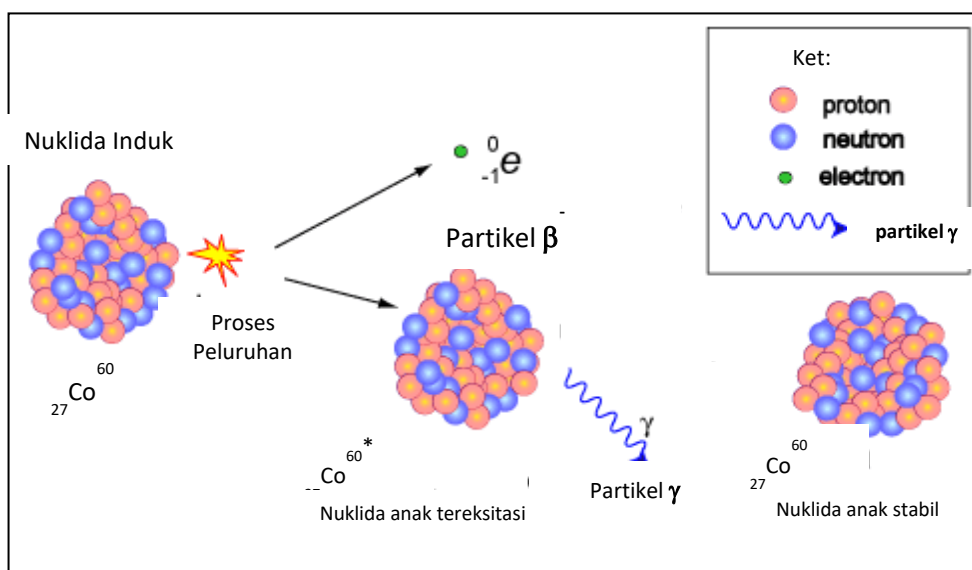
Peluruhan gamma adalah pemancaran radiasi yang berupa gelombang elektromagnetik (foton) akibat energi inti atom tidak dalam keadaan dasar. Peluruhan gamma tidak menyebabkan perubahan nomor atom maupun nomor massa, karena radiasi yang dipancarkan dalam peluruhan ini berupa gelombang elektromagnetik (foton). Peluruhan ini dapat terjadi pada inti atom yang isomer; dan dapat terjadi pada inti berat maupun ringan, di atas maupun di bawah kurva kestabilan. Biasanya, peluruhan gamma ini mengikuti peluruhan alpha ataupun beta.

Peluruhan gamma dapat dituliskan sebagai berikut.



Salah satu contoh peluruhan gamma yang mengikuti peluruhan  $\beta$





### B. Aktivitas Sumber Radioaktif

Suatu inti yang tidak stabil akan berubah menjadi stabil dengan memancarkan radiasi dengan laju peluruhan yang tertentu. Laju peluruhan adalah jumlah peluruhan per satuan waktu ( $\Delta N/\Delta t$ ) yang sebanding dengan berkurangnya jumlah inti yang tidak stabil ( $N$ ) dan konstanta peluruhan ( $\lambda$ ).

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N \quad \text{(III.1)}$$

**Aktivitas radiasi** didefinisikan sebagai jumlah peluruhan yang terjadi dalam satu detik, atau dengan kata lain adalah laju peluruhan itu sendiri.

$$A = \lambda \cdot N \quad \text{(III.2)}$$

Dari dua persamaan di atas, secara matematis akan diperoleh persamaan yang disebut sebagai hukum peluruhan yaitu:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{(III.3)}$$

di mana  $N_t$  adalah jumlah inti atom yang tidak stabil saat pengukuran,  $N_0$  adalah jumlah inti atom yang tidak stabil saat mula-mula,  $\lambda$  adalah konstanta peluruhan sedangkan  $t$  adalah selang waktu antara saat mula-mula sampai

saat pengukuran. Persamaan (III.3) dapat diubah menjadi persamaan (III.4) yang menyatakan aktivitas.

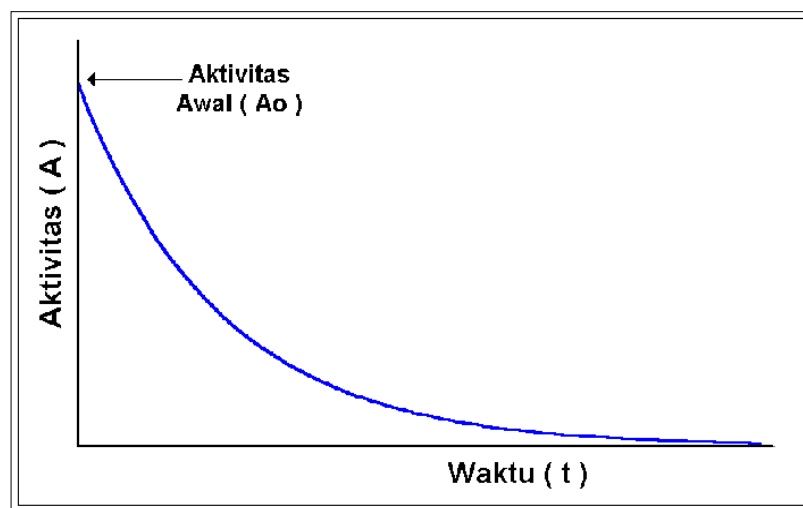
$$A = A_0 e^{-\lambda \cdot t} \quad (III.4)$$

di mana  $A$  adalah aktivitas pada saat  $t$ , sedangkan  $A_0$  adalah aktivitas mula-mula. Persamaan III.4 di atas dapat digambarkan dengan grafik eksponensial yang menunjukkan hubungan antara aktivitas radioaktif terhadap waktu seperti nampak pada gambar III.2.

### Satuan Aktivitas

Sejak tahun 1976 dalam sistem satuan internasional (SI) nilai aktivitas radiasi dinyatakan dalam satuan **becquerel (Bq)** yang didefinisikan sebagai:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ peluruhan per detik}$$



Gambar III.2. Aktivitas radioaktif sebagai fungsi dari waktu

Sebelum itu digunakan satuan **curie (Ci)** untuk menyatakan nilai aktivitas radiasi, yang didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Ci} &= 3,7 \times 10^{10} \text{ peluruhan per detik} \\ &= 37 \text{ GBq} = 37 \text{ milyar peluruhan per detik} \end{aligned}$$

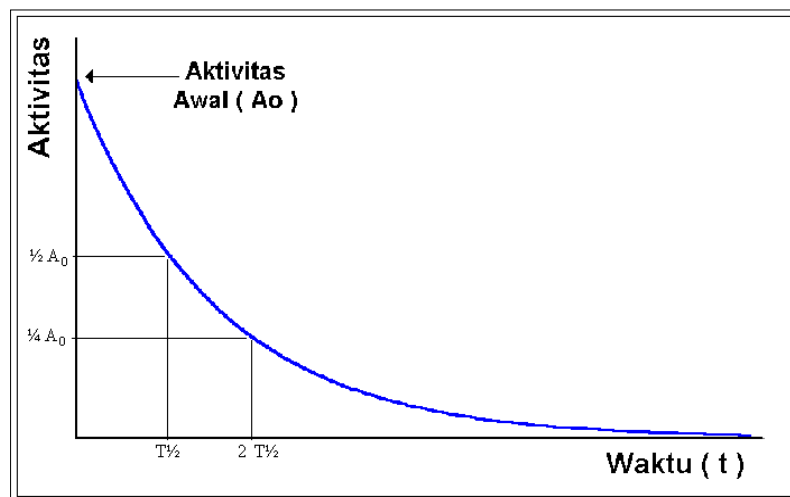
Satuan yang lebih kecil yaitu milicurie (mCi) dan micro curie ( $\mu\text{Ci}$ ),

$$1 \text{ mCi} = 10^{-3} \text{ Ci}$$

$$1 \mu\text{Ci} = 10^{-6} \text{ Ci}$$

### C. Umur paro

**Umur paro** ( $T_{1/2}$ ) didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan agar nilai aktivitas suatu radioaktif menjadi setengah dari nilai aktivitas mula-mula. Setiap radionuklida mempunyai umur paro yang unik dan tetap. Sebagai contoh, Co-60 mempunyai umur paro 5,27 tahun dan Ir-192 adalah 74 hari. Hubungan aktivitas radioaktif dan umur paro digambarkan pada gambar III.3



Gambar III.3: Aktivitas radioaktif setelah umur paro

Nilai umur paro suatu radionuklida dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (\text{III.5})$$

Konsep umur paro ini lebih mudah digunakan untuk menghitung aktivitas suatu radionuklida dibandingkan bila harus menggunakan persamaan matematis (III-4).

Aktivitas suatu radioaktif setelah selang waktu sama dengan satu kali  $T_{1/2}$  maka aktivitas tinggal 0,5 aktivitas mula-mula, sedangkan setelah dua kali  $T_{1/2}$  maka aktivitas tinggal 0,25 aktivitas mula-mula, dan seterusnya.

Aktivitas dapat juga dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_t = \left( \frac{1}{2} \right)^n \cdot A_0 \quad (\text{III.6})$$

$$n = \frac{t}{T_{1/2}}$$

dimana  $t$  adalah selang waktu antara saat mula-mula sampai saat pengukuran, sedangkan  $T_{1/2}$  adalah umur paro radionuklida.

**Contoh Soal:**

1. Sumber Ir-192 mempunyai umur paro ( $T_{1/2}$ ) = 74 hari, dan aktivitas pada tanggal 1 Januari 1999 adalah 100 MBq. Hitung aktivitas pada tanggal 28 Mei 1999, menggunakan (a) persamaan III-4, (b) persamaan III-6

Jawab:

Selang waktu  $t = 1 \text{ Januari} - 28 \text{ Mei } 1999 = 148 \text{ hari}$

- (a) Konstanta peluruhan,  $\lambda = 0,693/74 \text{ hari} = 0,00936/ \text{hari}$

$$A = 100 \text{ MBq} \cdot e^{-(0,00936/\text{hari} \cdot 148 \text{ hari})} = 100 \text{ MBq} \cdot 0,25 = 25 \text{ MBq}$$

- (b)  $n = 148/74 = 2$

$$A = \left( \frac{1}{2} \right)^2 \cdot 100 \text{ MBq} = 25 \text{ MBq}$$

Jadi aktivitas Ir-192 pada tanggal 28 Mei 1999 adalah 25 MBq.

2. Suatu bahan radioaktif mempunyai aktivitas 100 MBq pada pukul 08.00 WIB. Sedangkan pada pukul 14.00 WIB aktivitasnya tinggal 25 MBq. Berapa umur paro ( $T_{1/2}$ ) bahan radioaktif tersebut?

Jawab:

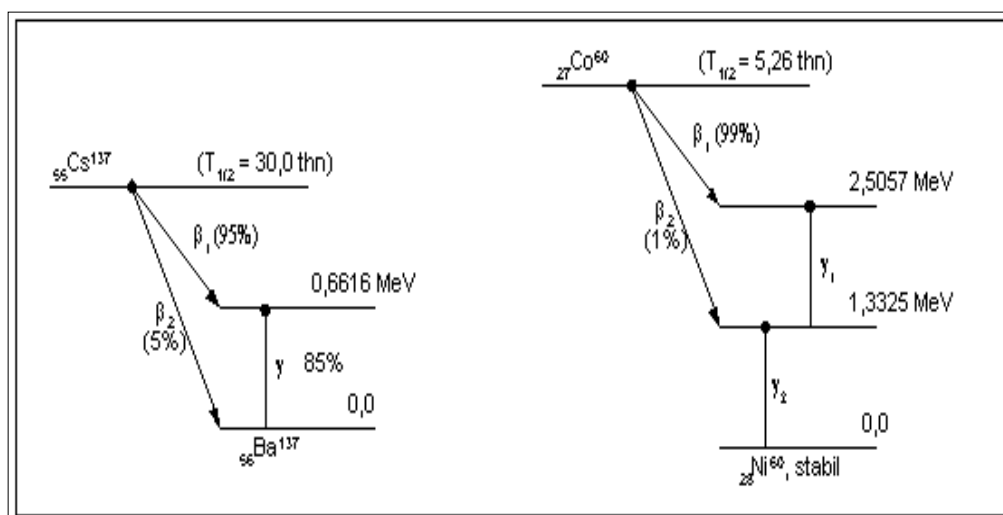
$A_0 = 100$  MBq,  $A_t = 25$  MBq, dan waktu  $t = 6$  jam.

Setelah 6 jam aktivitasnya tinggal  $25/100 = \frac{1}{4}$  kali aktivitas mula-mula, yang berarti telah mencapai 2 kali  $T_{1/2}$ .

$$t = 2 \times T_{1/2} = 6 \text{ Jam, maka } T_{1/2} = 3 \text{ jam.}$$

#### D. Skema Peluruhan

Proses peluruhan suatu radionuklida dari keadaan tidak stabil menjadi stabil seringkali mengalami tahapan tertentu yang dapat dilihat pada skema peluruhan. Gambar III.4 menunjukkan dua contoh yaitu skema peluruhan Cs-137 dan Co-60.



Gambar III.4. Skema Peluruhan Cs-137 dan Co-60

Pada skema peluruhan pada gambar III.4 terlihat bahwa dalam perjalanan menuju stabil, Cs-137 memancarkan 2 jenis radiasi  $\beta^-$  dan sebuah radiasi

$\gamma$  dengan energi 662 keV dan probabilitas pemancaran ( $p$ ) 85%, sedangkan Co-60 memancarkan 2 jenis radiasi  $\beta^-$  dan 2 jenis radiasi  $\gamma$  dengan masing-masing energi 1332,5 keV, yang mempunyai probabilitas ( $p$ ) =100% dan 1173,2 keV, yang mempunyai probabilitas ( $p$ ) =100%. Dari skema peluruhan tersebut juga dapat diketahui tingkat energi (“kekuatan”) dari setiap radiasi yang dipancarkan maupun probabilitas jumlah (kuantitas) pancarannya. Probabilitas pemancaran radiasi adalah probabilitas jumlah radiasi untuk suatu energi tertentu pada suatu peluruhan. Harga  $p$  dari beberapa sumber radiasi dapat dilihat pada tabel III.1.

No	Nama Isotop	Energi (keV)	Probabilitas ( $p$ , %)
1	Cobalt-60	1173,2	100
		1332,5	100
2	Cesium-137	662	85
3	Americium-241	59,5	36
4	Radium-226	351,9	35
		609.3	44
		1120.3	15

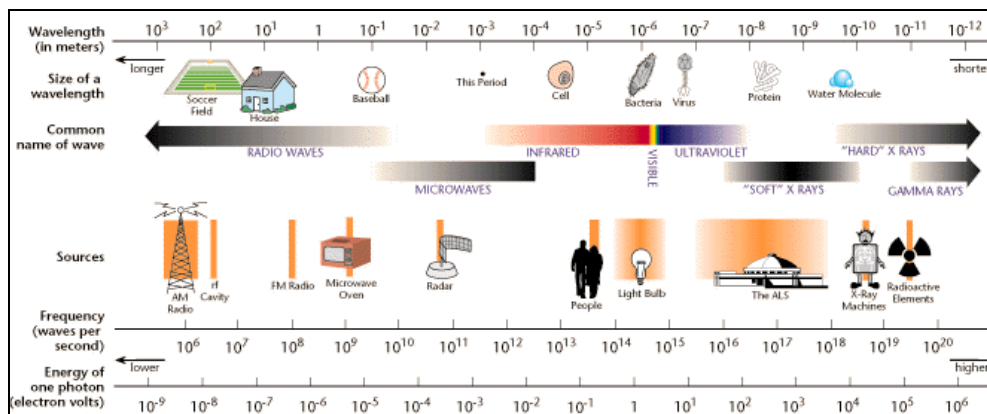
Source: [https://www.researchgate.net/figure/Table-1-Radio-nuclides-and-gamma-emission-probability-used\\_267599709\\_tbl1](https://www.researchgate.net/figure/Table-1-Radio-nuclides-and-gamma-emission-probability-used_267599709_tbl1)

Tabel III.1. Nilai probabilitas pemancaran radiasi ( $p$ ) beberapa isotop

### E. Panjang Gelombang dan Energi Radiasi

Radiasi gamma adalah gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang, frekuensi, dan amplitudo. Panjang gelombang adalah jarak antar puncak gelombang, dinyatakan dalam angstrom ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10}$  meter). Frekuensi gelombang merupakan banyaknya gelombang yang melintasi suatu titik dalam setiap detik, dinyatakan dalam siklus per detik atau hertz (Hz), sedangkan amplitudo adalah tinggi gelombang. Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik, sehingga bila panjang

gelombang meningkat maka frekuensi menurun. Energi, panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik dapat dilihat pada gambar III.5



Source <https://www.thinglink.com/scene/894600480238338048>

Gambar III.5. Energi, panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik

Daya tembus suatu gelombang pada material ditentukan oleh energinya. Semakin besar energi, maka daya tembusnya semakin besar. Panjang gelombang dan frekuensi menentukan besarnya energi, sedangkan amplitudo tidak. Hubungan antara panjang gelombang dengan energi berbanding terbalik, sehingga bila panjang gelombang menurun maka energi meningkat dan sebaliknya. Hubungan tersebut dituliskan dengan persamaan (III.7) dan (III.8):

$$E = h \nu \tag{III.7}$$

$$E = h \frac{c}{\lambda} \tag{III.8}$$

dengan:

$h$  = konstanta Planck,  $4,15 \times 10^{-15}$  eV-detik

$\nu$  = frekuensi (detik<sup>-1</sup>)

$\lambda$  = panjang gelombang (meter)

$c$  = kecepatan cahaya,  $3 \times 10^8$  m/detik



Energi radiasi adalah "kekuatan" dari partikel atau gelombang elektromagnetik yang dipancarkan pada saat peluruhan. Besarnya energi sangat berpengaruh terhadap kemampuan radiasi untuk menembus suatu materi, semakin besar energi maka akan semakin tinggi daya tembusnya. Satuan energi menurut Satuan Internasional (SI) adalah joule (J).

Untuk tujuan proteksi radiasi penggunaan satuan joule kurang sesuai karena merupakan satuan yang sangat besar sehingga sebagai gantinya digunakan satuan elektron volt (eV), dimana 1 (satu) elektron volt adalah besar energi yang di peroleh apabila elektron dipercepat melalui beda potensial sebesar 1 (satu) volt. Sebagai contoh, jika 1 elektron dilewatkan pada beda potensial 100 KV dari mesin sinar-X, elektron akan mempunyai energi sebesar 100 KeV. Konversi 1 eV sama dengan  $1,6 \times 10^{-19}$  J. Untuk keperluan praktis biasa digunakan satuan kiloelektronvolt (keV=  $10^3$  eV) atau megaelektronvolt (MeV=  $10^6$  eV)

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB IV

### INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

Interaksi radiasi dengan materi dapat dibedakan atas interaksi tiga jenis radiasi, yaitu radiasi partikel bermuatan, seperti radiasi  $\alpha$  dan  $\beta$ ; radiasi partikel tidak bermuatan yaitu radiasi neutron; dan radiasi gelombang elektromagnetik seperti radiasi  $\gamma$  dan sinar-X. Beberapa proses interaksi radiasi dengan materi yang terjadi antara lain adalah ionisasi, eksitasi, bremstrahlung, tumbukan elastik dan inelastik, dan reaksi inti.

#### A. Interaksi Partikel Alpha

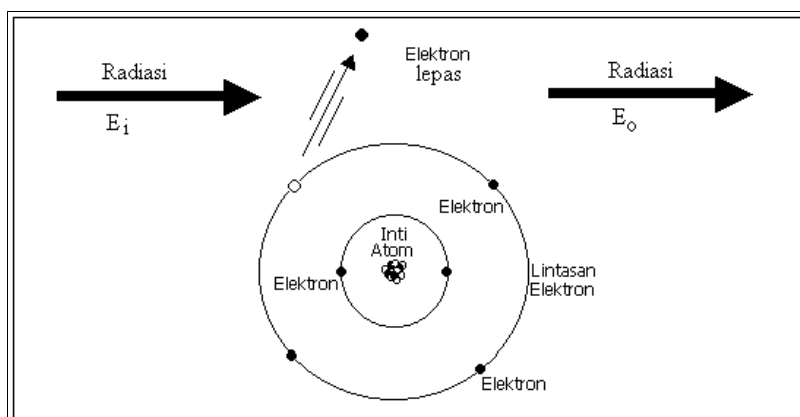
Dibandingkan dengan radiasi yang lain, partikel  $\alpha$  secara fisik maupun elektrik relatif besar. Selama melintas di dalam bahan penyerap, radiasi  $\alpha$  ini sangat mempengaruhi elektron-elektron orbit dari atom-atom bahan penyerap karena adanya gaya Coulomb. Oleh karena itu, radiasi  $\alpha$  sangat mudah diserap di dalam materi sehingga daya tembusnya sangat rendah. Radiasi  $\alpha$  yang mempunyai energi 3,5 MeV hanya dapat menembus 20 mm udara atau hanya dapat menembus 0,03 mm jaringan tubuh.

Interaksi radiasi  $\alpha$  dengan materi yang dominan adalah proses ionisasi dan eksitasi. Interaksi lainnya dengan probabilitas jauh lebih kecil adalah reaksi inti, yaitu perubahan inti atom materi yang dilaluinya menjadi inti atom yang lain, biasanya berubah menjadi inti atom yang tidak stabil

#### 1. Proses Ionisasi

**Ionisasi** adalah terlepasnya elektron dari orbitnya yang menjadi elektron bebas dan dihasilkan atom bermuatan positif.

Secara skematis, proses ionisasi dapat digambarkan pada gambar IV.1



Gambar IV.1. Proses ionisasi

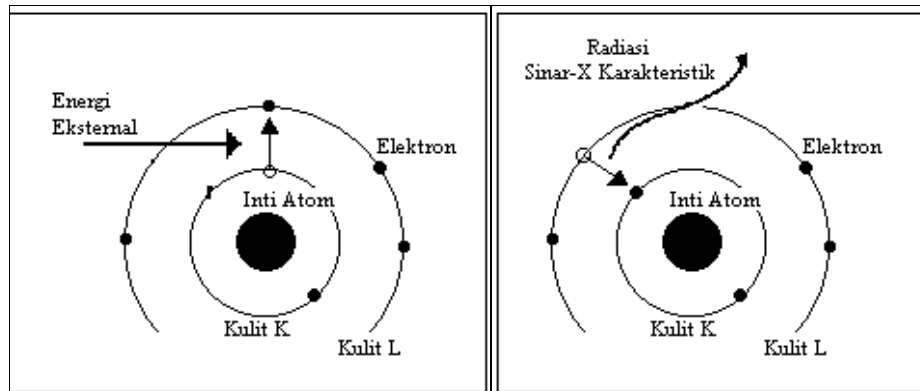
Energi radiasi setelah proses ionisasi ( $E_o$ ) akan lebih kecil dibandingkan dengan energi mula-mula ( $E_i$ ); berkurang sebesar energi yang dibutuhkan untuk melangsungkan proses ionisasi. Setelah melalui berkali-kali proses ionisasi, maka energi radiasinya akan habis.

## 2. Proses Eksitasi

Proses **eksitasi** adalah berpindahnya elektron ke kulit yang lebih luar karena adanya energi eksternal

Sebagaimana proses ionisasi, energi radiasi setelah melakukan proses eksitasi ( $E_o$ ) juga berkurang sebesar energi yang dibutuhkan untuk melangsungkan proses eksitasi. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan eksitasi tidak sebesar energi yang dibutuhkan untuk mengionisasi. Setelah mengalami berkali-kali proses eksitasi, maka energi radiasinya akan habis.

Proses eksitasi ini selalu diikuti oleh proses de-eksitasi yaitu proses transisi elektron dari kulit yang lebih luar ke kulit yang lebih dalam dengan memancarkan radiasi sinar-X karakteristik (sinar-X diskrit), seperti terlihat pada gambar IV.2.



Gambar IV.2. Proses eksitasi dan de-eksitasi yang menghasilkan sinar-X karakteristik

Energi radiasi sinar-X ( $E_x$ ) yang dipancarkan dalam proses transisi elektron ini adalah sama dengan selisih tingkat energi dari lintasan asal ( $E_a$ ) dan lintasan tujuan ( $E_t$ ).

$$E_x = E_a - E_t$$

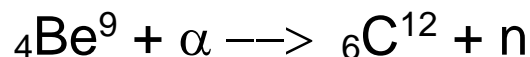
Sebaliknya, energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya proses transisi elektron dari kulit yang lebih dalam ke kulit yang lebih luar harus lebih besar dari pada selisih tingkat energi dari lintasan asal dan lintasan tujuan.

Proses transisi elektron tidak hanya terjadi pada lintasan-lintasan yang berurutan, mungkin saja terjadi transisi dari lintasan M ke lintasan K dengan memancarkan radiasi sinar-X. Energi yang dipancarkan oleh transisi elektron dari lintasan M ke K lebih besar daripada transisi dari lintasan L ke K. Tingkat energi lintasan dari setiap atom tidak sama. Sebagai contoh, energi sinar-X yang dipancarkan oleh transisi elektron di dalam atom perak (Ag) akan berbeda dengan energi yang dipancarkan oleh atom tungsten (W).

### 3. Proses reaksi inti

Proses reaksi inti akibat interaksi radiasi  $\alpha$  dengan bahan dapat terjadi jika radiasi  $\alpha$  mampu menembus atom hingga berdekatan dengan inti atom bahan. Hasil dari reaksi inti akan tercipta inti lain yang berbeda dengan inti atom aslinya.

Contoh dari reaksi inti ini ditunjukkan oleh persamaan reaksi berikut.



Setelah berinteraksi dengan radiasi  $\alpha$ , inti berilium ( ${}_4\text{Be}^9$ ) berubah menjadi inti carbon ( ${}_6\text{C}^{12}$ ) dan dipancarkan radiasi neutron. Fenomena reaksi inti oleh radiasi  $\alpha$ , digunakan untuk membuat sumber radiasi buatan seperti sumber radiasi neutron.

### B. Interaksi Partikel Beta

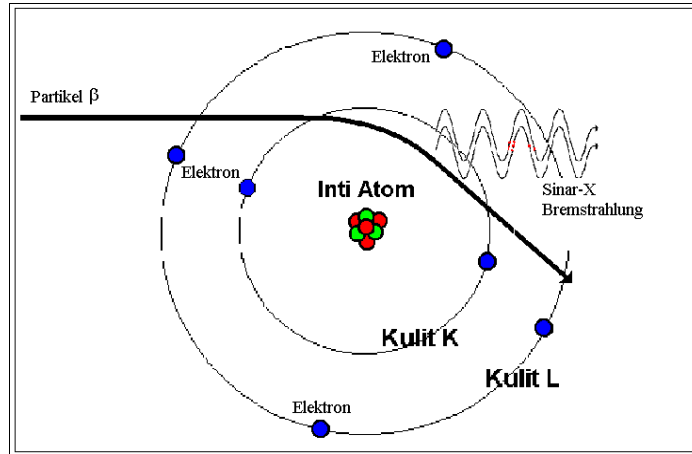
Dibandingkan dengan partikel alpha, massa dan muatan partikel beta lebih kecil, sehingga kurang diserap oleh materi yang berakibat daya tembusnya lebih jauh. Partikel beta dengan energi sebesar 3,5 MeV dapat melintas di udara sejauh 11 meter atau dapat mencapai jarak sekitar 15 mm di dalam jaringan tubuh.

Sebagaimana radiasi  $\alpha$ , proses ionisasi dan eksitasi dapat terjadi dalam interaksi radiasi  $\beta$  dengan materi, namun selain itu terdapat kemungkinan proses lain yang dapat terjadi dalam interaksi tersebut yaitu proses bremsstrahlung

Proses **bremsstrahlung** yang digambarkan pada gambar IV.3. adalah pemancaran radiasi gelombang elektromagnetik (sinar-X kontinyu) ketika radiasi  $\beta$  dibelokkan atau diperlambat oleh inti atom yang bermuatan positif. Ukuran radiasi  $\beta$  yang kecil dan kecepatannya yang tinggi, mengakibatkan radiasi  $\beta$  dapat “masuk” mendekati inti atom

Fraksi energi (  $f$  ) dari sinar-X bremstrahlung yang dihasilkan dapat ditentukan menggunakan persamaan empiris (IV.1).

$$f = 3,5 \times 10^{-4} \cdot Z \cdot E_{maks} \quad (IV.1)$$



Gambar IV.3. Terbentuknya Sinar-X bremsstrahlung

dengan  $Z$  adalah nomor atom bahan penyerap, sedangkan  $E_{maks}$  adalah energi maksimum dari partikel beta (dalam MeV).

Contoh:

Tentukan fraksi energi dari sinar-X bremsstrahlung yang dihasilkan oleh radiasi  $\beta$  dari P-32 ( $E_{maks} = 1,7$  MeV) apabila berinteraksi dengan timah hitam ( $Z = 82$ ) dan perspex ( $Z=7$ ).

**Jawaban:**

1.  $f = (3,5 \times 10^{-4}) \cdot (82) \cdot (1,7) = 0,049 = 4,9\%$
2.  $f = (3,5 \times 10^{-4}) \cdot (7) \cdot (1,7) = 0,0042 = 0,42\%$

Dari persamaan (IV-1) di atas dapat disimpulkan bahwa:

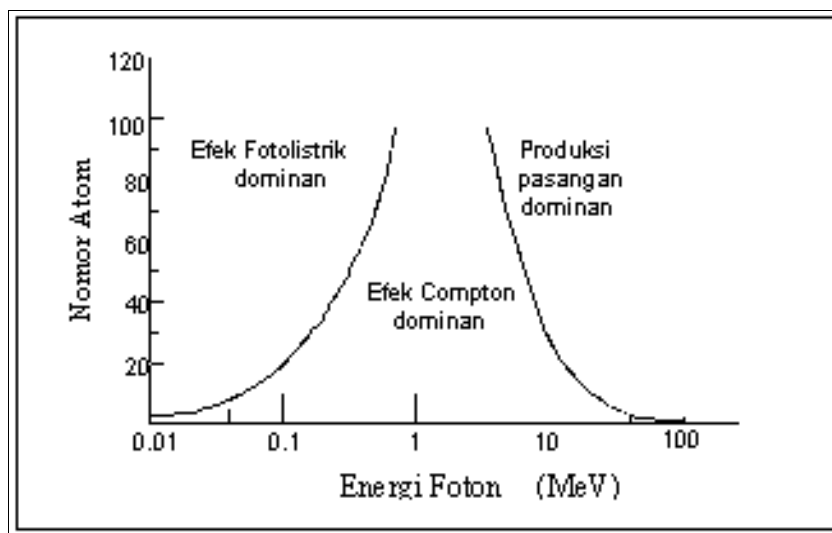
1. Energi radiasi  $\beta$  yang lebih besar akan menghasilkan fraksi radiasi sinar-X bremsstrahlung yang lebih besar.
2. Semakin besar nomor atom bahan penyerap akan menghasilkan fraksi radiasi sinar-X bremsstrahlung yang semakin besar.

### C. Interaksi Sinar Gamma atau Sinar-X

Sinar  $\gamma$  dan sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik, yang berarti tidak mempunyai massa maupun muatan listrik. Oleh karena itu, sinar  $\gamma$  dan sinar-X sangat sukar untuk diserap oleh materi, sehingga daya tembusnya sangat besar.

Proses interaksi antara sinar  $\gamma$  dan sinar-X dengan materi adalah efek fotolistrik, efek Compton, produksi pasangan dan photoneutron.

Probabilitas terjadinya proses interaksi tersebut sangat ditentukan oleh energi radiasi dan jenis materi (nomor atom) penyerapnya dan digambarkan pada gambar IV.5.



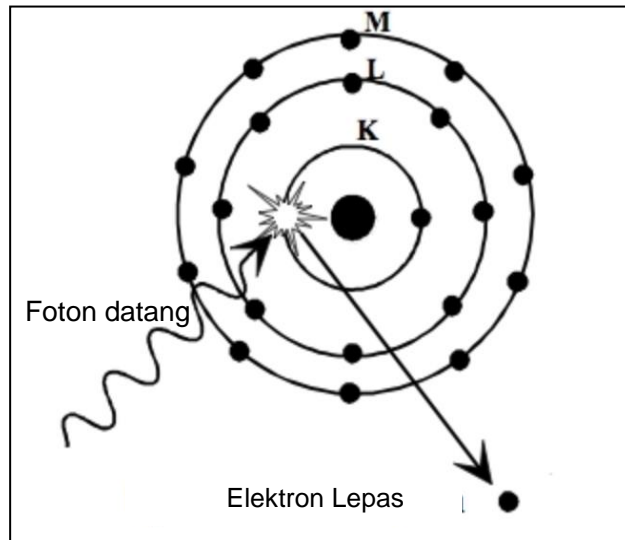
Gambar IV.5. Probabilitas interaksi foton dengan materi

#### 1. Efek Fotolistrik

Pada efek fotolistrik, energi foton diserap seluruhnya oleh elektron orbit, sehingga elektron tersebut terlepas dari atom. Elektron yang dilepaskan dalam proses ini, disebut fotoelektron, mempunyai energi sebesar energi foton yang mengenainya.



Interaksi Efek fotolistrik dapat dilihat pada gambar IV.6



Gambar IV.6. Mekanisme Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik dominan terjadi bila foton berenergi rendah di bawah 0,5 MeV dan lebih banyak terjadi pada bahan dengan Z yang besar. Sebagai contoh efek fotolistrik lebih banyak terjadi pada timah hitam (Z=82) daripada tembaga (Z=29).

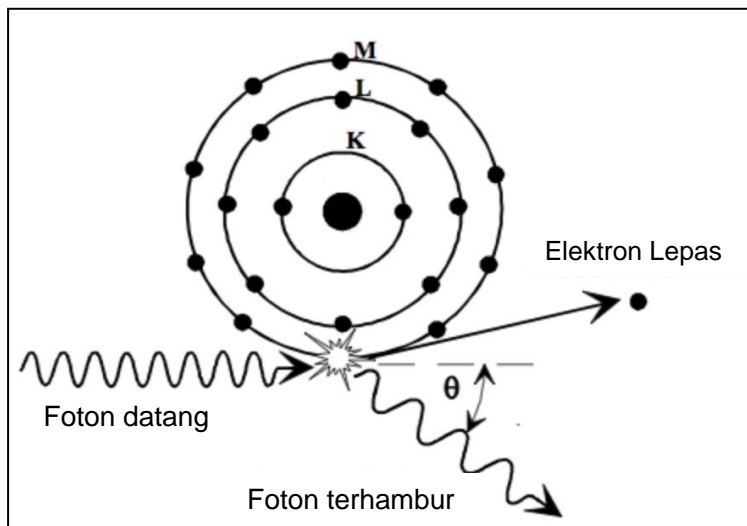
## 2. Hamburan Compton

Pada hamburan Compton, foton dengan energi  $h\nu_i$  berinteraksi dengan elektron terluar dari atom, selanjutnya foton dengan energi  $h\nu_o$  dihamburkan dan sebuah fotoelektron lepas dari ikatannya

Energi kinetik elektron ( $E_e$ ) sebesar selisih energi foton masuk dan foton keluar seperti dinyatakan pada persamaan (IV.2).

$$E_e = h\nu_i - h\nu_o \quad (IV.2)$$

Hamburan Compton dominan terjadi bila foton berenergi sedang (di atas 0,5 MeV) dan lebih banyak terjadi pada material dengan Z yang rendah. Interaksi Efek fotolistrik dapat dilihat pada gambar IV.7



Gambar IV.7. Interaksi Hamburan Compton

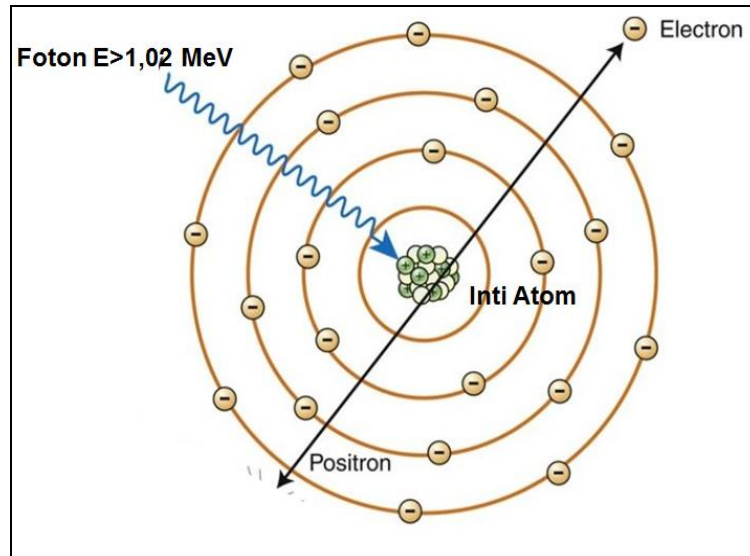
### 3. Produksi Pasangan

Proses produksi pasangan hanya terjadi bila energi foton datang  $h\nu_i$  lebih besar dari 1,02 MeV. Ketika foton "sampai" ke dekat inti atom maka foton tersebut akan lenyap dan berubah menjadi sepasang elektron-positron. Positron adalah partikel yang identik dengan elektron tetapi bermuatan positif.

Secara skematik produksi pasangan dapat dilihat pada gambar IV.8. Energi kinetik total dari dua partikel tersebut sama dengan energi foton yang datang dikurangi 1,02 MeV dan dinyatakan pada persamaan (IV.3).

$$E_{e^+} + E_{e^-} = h\nu_i - 1.02 \text{ MeV} \quad (\text{IV.3})$$

$E_{e^+}$  adalah energi kinetik positron dan  $E_{e^-}$  energi kinetik elektron. Interaksi Produksi Pasangan dapat dilihat pada gambar IV.8



Gambar IV.8. Interaksi Produksi Pasangan

#### 4. Ionisasi Tidak Langsung

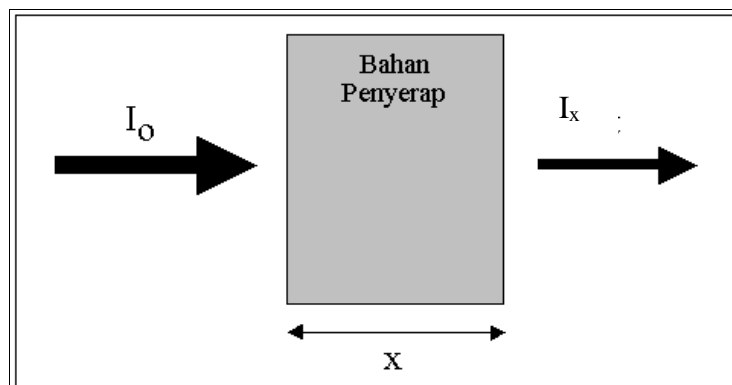
Dari tiga interaksi gelombang elektromagnetik tersebut di atas terlihat bahwa semua interaksi menghasilkan partikel bermuatan (elektron atau positron) yang berenergi. Elektron atau positron yang berenergi tersebut dalam pergerakannya dapat mengionisasi atom-atom bahan yang dilaluinya sehingga dengan kata lain, gelombang elektromagnetik juga dapat mengionisasi bahan tetapi secara tidak langsung.

#### Penyerapan Radiasi Gelombang Elektromagnetik

Berbeda dengan radiasi partikel bermuatan ( $\alpha$  atau  $\beta$ ), daya tembus radiasi sinar gamma dan sinar-X sangat tinggi bahkan tidak dapat diserap secara keseluruhan.

Hubungan antara intensitas radiasi yang datang ( $I_0$ ) dan intensitas yang diteruskan ( $I_x$ ) setelah melalui bahan penyerap setebal  $x$  (lihat gambar IV.9) dapat dinyatakan dengan persamaan (IV.4).

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (IV.4)$$



Gambar IV.9. Penyerapan Radiasi Gelombang Elektromagnetik

$\mu$  adalah koefisien atenuasi linier bahan terhadap radiasi gamma atau sinar-X dengan satuan  $\text{cm}^{-1}$ , yang sangat dipengaruhi oleh densitas, bahan penyerap, dan energi radiasi yang mengenainya (lihat Tabel IV.1).

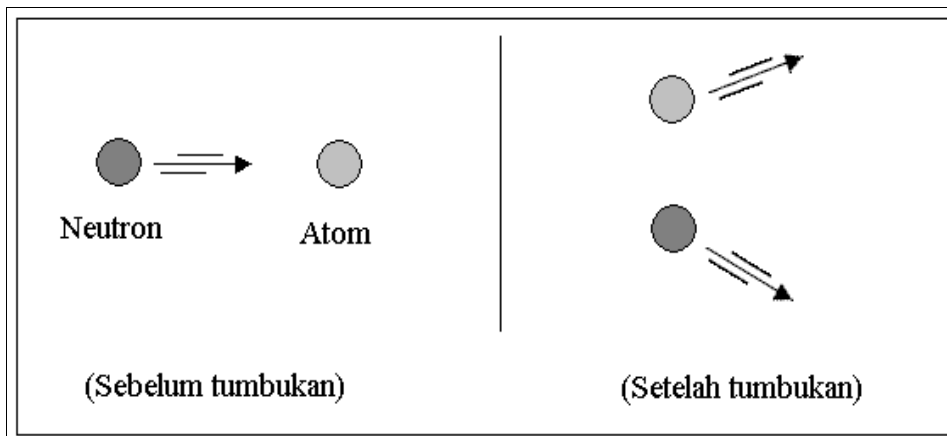
#### D. Interaksi Radiasi Neutron

Neutron adalah partikel yang mempunyai massa tetapi tidak bermuatan listrik, sehingga interaksinya dengan materi lebih banyak bersifat mekanik yang berupa tumbukan antara neutron dengan atom (inti atom) bahan penyerap, baik secara elastik maupun tak elastik. Pada setiap tumbukan, materi akan menyerap energi neutron, sehingga setelah beberapa kali tumbukan maka energi neutron akan "habis". Interaksi lain yang mungkin terjadi bila energi neutron sudah sangat rendah, adalah reaksi inti atau penangkapan neutron oleh inti atom bahan penyerap dan reaksi fisi atau pembelahan inti.

**1. Tumbukan Elastik**

Tumbukan elastik adalah tumbukan antara neutron cepat dengan inti atom di mana total energi kinetik dan momentum partikel-partikel sebelum dan sesudah tumbukan tidak berubah. Dalam tumbukan elastik antara neutron cepat dan inti atom bahan penyerap, sebagian energi neutron diberikan kepada inti atom yang ditumbuknya sehingga inti atom tersebut terpental sedangkan neutronnya dibelokkan/ dihamburkan. Tumbukan elastik terjadi bila atom yang ditumbuk oleh neutron cepat mempunyai massa yang sama, atau hampir sama dengan massa neutron (misalnya atom Hidrogen), sehingga fraksi energi neutron yang terserap oleh atom tersebut cukup besar. Air yang mengandung banyak atom hidrogen, merupakan bahan yang efektif sebagai bahan moderasi neutron.

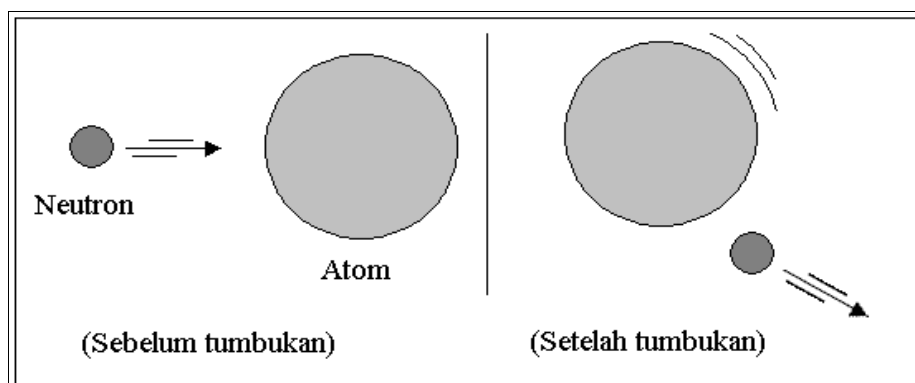
Secara skematik tumbukan elastik ditunjukkan pada gambar IV.10.



Gambar IV.10. Peristiwa tumbukan elastic

## 2. Tumbukan Tak Elastik

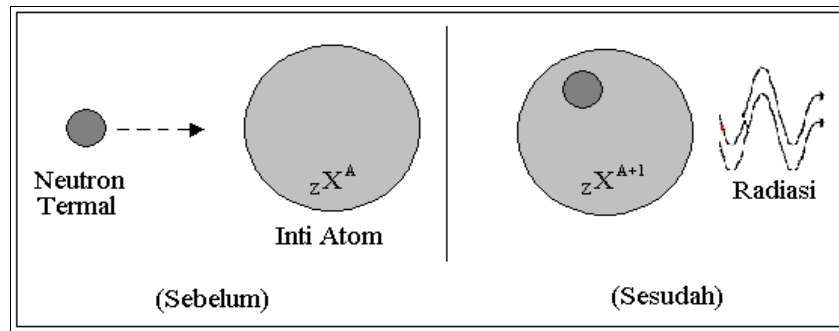
Proses tumbukan tak elastik sebenarnya sama saja dengan tumbukan elastik, tetapi energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan berbeda. Ini terjadi bila massa atom yang ditumbuk neutron jauh lebih besar dari massa neutron. Setelah tumbukan, inti atom tersebut tidak terpenyal, tetapi inti atom tersebut tereksitasi, sedang neutronnya terhamburkan. Inti atom yang tereksitasi akan menuju kondisi normal dengan memancarkan radiasi gamma. Dalam peristiwa ini, energi neutron yang diberikan kepada atom yang ditumbuknya tidak terlalu besar sehingga setelah tumbukan, energi neutron tidak banyak berkurang. Oleh karena itu, bahan yang mengandung atom-atom dengan nomor atom besar tidak efektif sebagai penahan radiasi neutron.



Gambar IV.11. Peristiwa tumbukan non elastik

## 3. Reaksi Inti (Penangkapan Neutron)

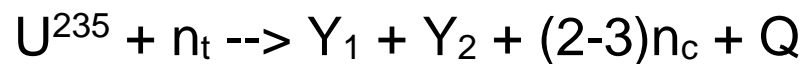
Bila energi neutron sudah sangat rendah atau sering disebut sebagai neutron termal ( $E_n < 0,025 \text{ eV}$ ), maka terdapat kemungkinan bahwa neutron tersebut akan “ditangkap” oleh inti atom bahan penyerap sehingga membentuk inti atom baru, yang biasanya merupakan inti atom yang tidak stabil, yang memancarkan radiasi, misalnya  $\alpha$ ,  $\beta$  atau  $\gamma$ . Peristiwa ini disebut proses aktivasi neutron, yaitu mengubah bahan yang stabil menjadi bahan radioaktif.



Gambar IV.12. Peristiwa penangkapan neutron

#### 4. Reaksi Fisi

Mekanisme utama terjadinya reaksi fisi digambarkan oleh persamaan reaksi berikut.



Suatu inti atom yang dapat belah (fisi) seperti U-235 ketika di"tembak" dengan neutron termal ( $n_t$ ) akan membelah menjadi dua inti radioaktif  $Y_1$  dan  $Y_2$  (inti hasil belah). Dalam reaksi pembelahan tersebut juga dilepaskan 2 atau 3 buah neutron cepat ( $n_c$ ) dan sejumlah energi panas ( $Q$ ). Oleh karena  $Y_1$  dan  $Y_2$  merupakan inti-inti yang aktif maka dalam proses tersebut juga dipancarkan berbagai macam radiasi ( $\alpha$  atau  $\beta$ , dan  $\gamma$ ).

Dari mekanisme reaksi fisi di atas terlihat bahwa setiap reaksi akan menghasilkan dua atau lebih neutron cepat baru, yang energinya dapat diturunkan menjadi neutron lambat (termal). Neutron termal yang baru tersebut dapat menyebabkan reaksi fisi berikutnya. Proses ini berlangsung terus menerus dan disebut sebagai proses reaksi berantai (*chain reaction*). Dalam reaktor nuklir, proses reaksi berantai ini dikendalikan secara cermat sehingga tidak berbahaya, sedangkan pada bom atau senjata nuklir reaksi ini dibiarkan tanpa kendali.

Bahan penahan neutron yang efektif adalah bahan yang mengandung banyak unsur hidrogen ( H ) seperti parafin dan air. Neutron lambat (thermal) akan berhenti setelah menempuh jarak  $\pm 3$  cm di dalam air. Akan tetapi perlu diperhatikan bahwa interaksi neutron dengan hidrogen di dalam air akan juga menghasilkan radiasi  $\gamma$  , meskipun probabilitasnya sangat kecil. Maka untuk menahan radiasi  $\gamma$  hasil interaksi tersebut, perlu dipasang Pb mengelilingi parafin atau air.

### E. Sifat Radiasi

#### **Sifat Radiasi Alpha ( $\alpha$ )**

- a. Daya ionisasi lebih besar daripada daya ionisasi partikel  $\beta$  dan sinar  $\gamma$ .
- b. Mempunyai jarak jangkauan (tembus) sangat pendek, hanya beberapa mm udara, tergantung pada energinya.
- c. Dibelokkan ke arah kutub negatif jika melewati medan magnet atau medan listrik.
- d. Kecepatan bervariasi antara 1/100 hingga 1/10 kecepatan cahaya.
- e. Mempunyai Spektrum energi radiasi diskrit

#### **Sifat Radiasi Beta ( $\beta$ )**

- a. Daya ionisasinya di udara 1/100 kali dari partikel  $\alpha$ .
- b. Jarak jangkauannya lebih jauh daripada partikel  $\alpha$ , di udara dapat mencapai beberapa cm.
- c. Kecepatan mendekati kecepatan cahaya
- d. Mudah sekali dihamburkan jika melewati medium, karena massanya sangat ringan
- e. Dibelokkan kearah kutub yang berlawanan dengan muatannya jika melewati medan magnet atau medan listrik.
- f. Energi rata-rata = 1/3 energi maksimum,
- g. Mempunyai Spektrum energi kontinyu.



**Sifat Radiasi Gamma ( $\gamma$ )**

- a. Dipancarkan oleh nuklida tereksitasi (isomer) dengan panjang gelombang antara 0,005 Å hingga 0,5 Å.
- b. Daya ionisasinya di dalam medium sangat kecil sehingga daya tembusnya sangat besar bila dibandingkan dengan daya tembus partikel  $\alpha$  atau  $\beta$ .
- c. Tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun medan magnet, karena sinar  $\gamma$  tidak bermuatan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB V

### SUMBER RADIASI

Sumber radiasi dapat dibedakan berdasarkan asalnya yaitu sumber radiasi alam yang sudah ada di alam ini sejak terbentuknya, dan sumber radiasi buatan yang sengaja dibuat oleh manusia. Sumber radiasi alam antara lain sinar kosmik, NORM/TENORM. Sedangkan sumber radiasi buatan yang digunakan dalam aplikasi teknik nuklir, pesawat pembangkit sinar-X, akselerator, reaktor, dan zat radioaktif.

#### A. Sumber Radiasi Alam

Setiap hari manusia menerima radiasi dari alam. Radiasi dari alam ini merupakan bagian terbesar yang diterima oleh manusia dan disebut radiasi latar belakang

Radiasi latar belakang yang diterima oleh seseorang dapat berasal dari tiga sumber radiasi utama berikut:

- sumber radiasi kosmik yang berasal dari benda langit di dalam dan luar tata surya kita,
- sumber radiasi terestrial yang berasal dari kerak bumi,
- sumber radiasi internal yang berasal dari dalam tubuh manusia sendiri.

#### 1. Sumber Radiasi Kosmik

Radiasi kosmik berasal dari angkasa luar, sebagian berasal dari ruang antarbintang dan matahari. Radiasi kosmik ini terdiri dari partikel dan sinar yang berenergi tinggi ( $10^{17}$  eV) dan berinteraksi dengan inti atom stabil di atmosfer membentuk inti radioaktif seperti C-14, Be-7, Na-22 dan H-3. Radionuklida yang terjadi karena interaksi dengan radiasi kosmik ini disebut radionuklida *cosmogenic*.

Atmosfir bumi dapat mengurangi radiasi kosmik yang diterima oleh manusia. Tingkat radiasi dari sumber kosmik ini tergantung kepada ketinggian, yaitu radiasi yang diterima akan semakin besar apabila posisinya semakin tinggi. Tingkat radiasi yang diterima seseorang juga tergantung pada garis lintangnya di bumi, karena radiasi kosmik ini dipengaruhi oleh medan magnet bumi. Karena medan magnet bumi di daerah kutub lebih kuat, maka radiasi yang diterima di kutub lebih kecil daripada di daerah katulistiwa.

## 2. Sumber Radiasi Terrestrial

Radiasi terrestrial secara natural dipancarkan oleh radionuklida di dalam kerak bumi, dan radiasi ini dipancarkan oleh radionuklida yang disebut primordial dengan umur paro berorde milyar ( $10^9$ ) tahun. Radionuklida ini ada sejak terbentuknya bumi, sehingga sering disebut *Natural Occurring Radioactive Materials* (NORM). Radionuklida yang ada dalam kerak bumi terutama adalah deret uranium, yaitu peluruhan berantai mulai dari U-238 sampai Pb-206 yang stabil; deret Actinium, yang mulai dari U-235 sampai Pb-207; dan deret Thorium, mulai dari Th-232 sampai Pb-208 (lihat lampiran 3). Dalam setiap proses peluruhan berantai di atas dipancarkan berbagai jenis radiasi ( $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$ ) dengan berbagai tingkatan energi.

Radiasi terrestrial terbesar yang diterima manusia berasal dari radon (Rn-222) dan thoron (Rn-220) karena dua radionuklida ini berbentuk gas sehingga bisa menyebar kemana-mana.

Tingkat radiasi yang diterima seseorang dari radiasi terrestrial ini berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lain, bergantung dari konsentrasi sumber radiasi di dalam kerak bumi. Di beberapa tempat di bumi ini ada yang memiliki tingkat radiasi di atas rata-rata seperti Poços de Caldas dan Guarapari (Brazil), Kerala dan Tamil Nadu (India) dan Ramsar (Iran).

### 3. Sumber Radiasi di Dalam Tubuh

Sumber radiasi ini berada di dalam tubuh manusia sejak dilahirkan. Sumber radiasi juga dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, minuman, pernafasan, atau luka. Radiasi internal ini terutama diterima dari radionuklida C-14, H-3, K-40, radon. Selain itu, masih ada sumber lain seperti Pb-210 dan Po-210 yang banyak berasal dari ikan dan kerang-kerangan, atau K-40 yang berasal dari buah-buahan.

### B. Sumber Radiasi Buatan

Sejak sinar -X ditemukan oleh W. Roentgen pada abad ke 20, sumber radiasi buatan mulai digunakan untuk berbagai aplikasi. Saat ini sudah banyak mesin atau instalasi yang dapat memproduksi radiasi buatan seperti mesin sinar-X, alat pemercepat partikel dan sebagainya. Berkas radiasi yang dibangkitkan oleh mesin atau Pembangkit Radiasi Pengion itu dapat juga dimanfaatkan untuk menghasilkan zat radioaktif buatan.

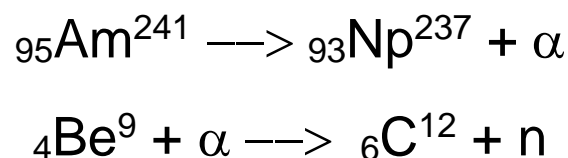
#### 1. Zat Radioaktif Buatan

Saat ini telah banyak unsur radioaktif yang berhasil dibuat oleh manusia berdasarkan reaksi inti antara nuklida yang tidak radioaktif dengan neutron , (yang berupa reaksi fisi di dalam reaktor atom), aktivasi neutron, atau berdasarkan penembakan nuklida yang tidak radioaktif dengan partikel atau ion cepat (di dalam alat-alat pemercepat partikel, misalnya akselerator, siklotron). Radionuklida buatan ini bisa merupakan pemancar radiasi alpha, beta, gamma, atau neutron. Contoh sumber radiasi buatan yang digunakan di industri dan medik antara lain: Ir-192, Cs-137, Co-60, I-131, F-18, Mo-99.

Zat radioaktif pemancar neutron berasal dari proses fisi spontan yang dialami oleh californium 252 (Cf-252). Californium-252 selain meluruh dengan memancarkan radiasi  $\alpha$ , juga mengalami proses fisi secara spontan. Pada

proses fisi spontan tersebut akan dipancarkan 2 neutron atau lebih yang keluar dari inti Cf-252.

Radiasi neutron dapat dihasilkan melalui interaksi radiasi  $\alpha$  dengan bahan yang dapat melangsungkan reaksi  $(\alpha, n)$ , seperti unsur Be. Sumber neutron ini merupakan campuran antara bahan radioaktif pemancar  $\alpha$  dengan unsur Be. Salah satu contoh sumber neutron ini adalah serbuk Am-241 yang dicampur dengan serbuk Be, kemudian dibungkus dalam sebuah kapsul, sehingga terjadi reaksi sebagai berikut.



## 2. Pembangkit Radiasi Pengion

Pembangkit radiasi pengion bekerja dengan menggunakan arus dan tegangan listrik. Radiasi yang dibangkitkan oleh alat ini dapat berupa radiasi elektron, proton, neutron, atau sinar-X. Keuntungan dari alat ini adalah tidak diperlukan penanganan khusus jika sedang tidak digunakan. Tidak seperti zat radioaktif, alat ini tidak memancarkan radiasi pada saat tidak dioperasikan.

Salah satu pembangkit radiasi pengion adalah akselerator yaitu alat yang digunakan untuk mempercepat partikel bermuatan (elektron, proton, dan deuterium). Partikel bermuatan, misalnya elektron, dipercepat menggunakan medan listrik atau medan magnet sehingga mencapai kecepatan yang sangat tinggi. Partikel bermuatan dengan kecepatan sangat tinggi yang dipancarkan oleh akselerator dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Sebagai contoh, partikel proton yang telah dipercepat oleh akselerator dapat dimanfaatkan

untuk memproduksi zat radioaktif. Elektron yang dipercepat dapat digunakan untuk memproduksi sinar-X berenergi tinggi. Ion deuterium ( ${}^2\text{H}^+$ ) yang dipercepat dapat memproduksi radiasi neutron.

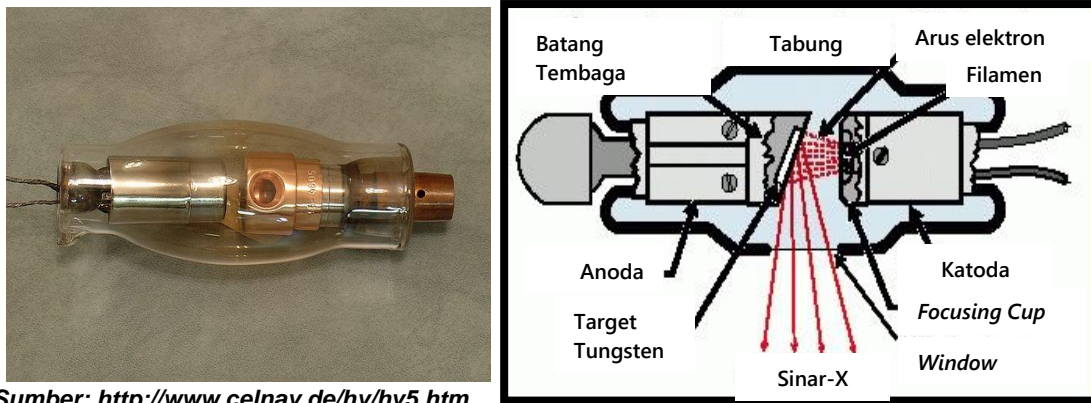
Beberapa contoh akselerator yang banyak digunakan adalah akselerator linier (LINAC = *linear accelerator*) yang mempunyai lintasan berbentuk lurus, dan *cyclotron* yang mempunyai lintasan berbentuk lingkaran. Disamping LINAC dan *cyclotron*, pembangkit radiasi pengion lainnya adalah pesawat sinar-X, dan mesin berkas elektron (MBE).

Penggunaan sinar-X energi tinggi pada Linear Accelerator (Linac) akan menghasilkan neutron yang akan menyebabkan reaksi dengan material yang ada di dalam ruangan. Jika dioperasikan pada energi diatas 8 MV, linac akan menghasilkan neutron, terlepas beroperasi dengan elektron atau sinar-X. yang disebut dengan photoneutron. Photoneutron terjadi terutama pada material dengan nomor atom, Z, tinggi, yang terdapat pada *head* linac seperti bahan target, filter perataan (*Flattening Filter*), *Jaws*, dan pelindung *head*; serta material lain di yang ada dalam ruangan linac.

Photoneutron dihasilkan ketika foton berbenturan dengan inti, dan kemudian energi foton didistribusikan ke nukleon. Pada kejadian tersebut, neutron yang ada dekat permukaan inti menerima energi yang cukup untuk kemudian lepas dari inti. Neutron tersebut dipancarkan secara isotropis (sama ke segala arah). Reaksi lain yang mungkin terjadi yang juga berkontribusi terhadap produksi neutron yaitu adanya foton yang memberikan semua energinya kepada satu neutron yang kemudian tertendang keluar dari inti. Neutron tersebut sebagian besar dipancarkan searah dengan arah foton datang.

### Pembangkitan Sinar-X

Sinar-X dihasilkan oleh suatu alat yang dinamakan pesawat sinar-X, yang terdiri dari sinar-X konvensional dan sinar-X energi tinggi. Bagian terpenting dari pesawat sinar-X konvensional adalah tabung sinar-X yang merupakan tempat dihasilkannya sinar-X. Untuk menghasilkan sinar-X diperlukan tiga persyaratan dasar, yaitu sumber elektron, pemercepat elektron dan target. Sebuah model tabung sinar-X dan bagian-bagian utamanya ditunjukkan pada gambar V.1



Sumber: <http://www.celnav.de/hv/hv5.htm>

Gambar V.1. Tabung sinar-X konvensional dan bagian-bagiannya.

Tahapan proses terjadinya sinar-X pada tabung sinar-X secara detail akan dibahas pada materi Proteksi Radiasi terhadap Paparan Kerja

Sinar-X terdiri dari dua jenis yaitu sinar-X karakteristik dan *bremstrahlung*. *Bremstrahlung* memiliki spektrum (distribusi) energi kontinu dari yang terendah sampai maksimum, sedangkan sinar-X karakteristik memiliki spektrum energi diskrit (tidak kontinu) dan khas sesuai material targetnya. Sinar-X karakteristik memiliki energi rendah, sehingga akan hilang dari spektrum sinar-X setelah melalui filter. Gambar V.2. menunjukkan spektrum energi sinar-X yang terdiri dari spektrum sinar-X *bremstrahlung* dan sinar-X karakteristik.



Energi maksimum ( $E_{\max}$ ) suatu berkas sinar-X merupakan hasil kali muatan elektron ( $e$ ) dengan beda potensial yang digunakan ( $V$ ), seperti dinyatakan dalam persamaan (V.1)

$$E_{\max} = e \cdot V \tag{V.1}$$

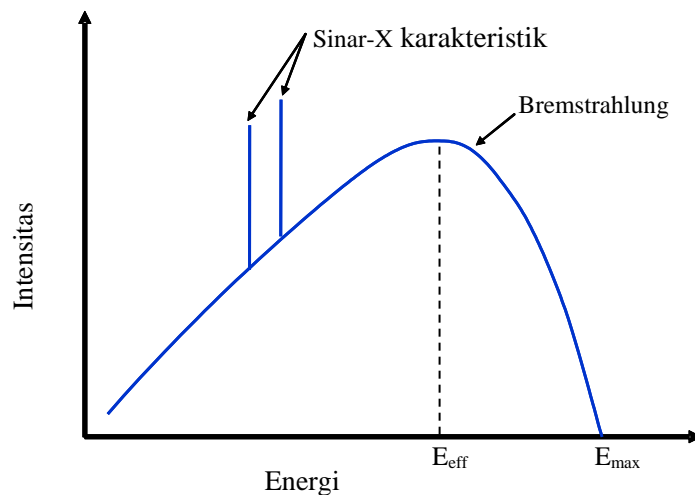
Energi efektif adalah energi sinar-X yang intensitasnya terbesar. Besarnya energi efektif dapat ditentukan dengan persamaan (V.2) sedangkan  $E_{\max}$  dengan persamaan (V.3)

$$E_{\text{ef}} \cong \frac{E_{\max}}{1,5} \tag{V.2}$$

$$E_{\max} = h \cdot \nu = \frac{hc}{\lambda} \tag{V.3}$$

Energi efektif adalah energi sinar-X yang intensitasnya terbesar. Besarnya energi efektif dapat ditentukan dengan persamaan (V.4)

$$E_{\text{ef}} \cong \frac{E_{\max}}{1,5} \tag{V.4}$$



Gambar V. 2. Spektrum energi sinar-X yang terdiri dari sinar-X kontinu (Bremstrahlung) dan sinar-X karakteristik

Contoh :

Jika pada tabung sinar-X digunakan beda potensial sebesar 180 KV, maka spektrum sinar-X yang dihasilkan memiliki energi maksimum sebesar 180 KeV, dan energi efektif sinar-X adalah  $180/1,5 = 120$  KeV.

## RANGKUMAN

1. Atom adalah bagian terkecil dari suatu materi yang masih memiliki sifat materi tersebut.
2. Atom terdiri dari inti atom (berisi proton dan neutron) serta elektron yang mengelilingi inti atom pada lintasan tertentu.
3. Muatan dan massa dari elektron, proton dan neutron adalah sebagaimana tabel berikut.

Tabel II.1 Nilai muatan dan massa dari partikel elementer

Partikel	Muatan Listrik		Massa	
	Coulomb	Elementer	Kg	sma
Elektron	$- 1,6 \times 10^{-19}$	-1	$9,1 \times 10^{-31}$	0
Proton	$+ 1,6 \times 10^{-19}$	+1	$1,67 \times 10^{-27}$	1
Neutron	0	0	$1,67 \times 10^{-27}$	1

4. Transisi elektron dari suatu lintasan ke lintasan yang lebih dalam akan memancarkan radiasi sinar-X karakteristik. Sebaliknya, transisi elektron dari satu lintasan ke lintasan yang lebih luar akan membutuhkan energi eksternal.
5. Penulisan nuklida adalah  ${}_Z X^A$  dengan X adalah simbol atom, Z adalah nomor atom (jumlah proton), A adalah nomor massa (jumlah proton ditambah jumlah neutron).
6. Isotop adalah inti-inti atom yang mempunyai nomor atom sama tetapi mempunyai nomor massa berbeda.
7. Isobar adalah inti-inti atom yang mempunyai nomor massa sama tetapi mempunyai nomor atom berbeda.
8. Isoton adalah inti-inti atom atau nuklida-nuklida yang mempunyai jumlah neutron sama tetapi mempunyai nomor atom berbeda.

9. Isomer adalah inti-inti atom yang mempunyai nomor atom maupun nomor massa sama tetapi mempunyai tingkat energi yang berbeda.
10. Peluruhan radioaktif adalah perubahan inti atom yang tidak stabil, yang disebut sebagai radionuklida atau radioisotop, menjadi inti atom yang stabil. Bahan yang terdiri atas inti atom yang tidak stabil dengan jumlah yang cukup banyak disebut bahan radioaktif.
11. Peluruhan spontan dapat berupa peluruhan alpha, peluruhan beta, atau peluruhan gamma.
12. Dalam peluruhan  $\alpha$  akan dipancarkan partikel  $\alpha$  yang identik dengan inti atom Helium  $\alpha$  bermuatan dua positif dan bermassa 4 sma. Nuklida yang meluruh akan kehilangan dua proton dan dua neutron, sehingga membentuk nuklida baru.
13. Dalam peluruhan  $\beta^-$  terjadi perubahan neutron menjadi proton di dalam nuklida yang meluruh sehingga berubah menjadi nuklida baru. Sebaliknya dalam peluruhan  $\beta^+$  terjadi perubahan proton menjadi neutron. Partikel  $\beta^-$  identik dengan elektron, sedangkan  $\beta^+$  identik dengan positron (elektron yang bermuatan positif).
14. Peluruhan gamma terjadi pada nuklida yang berada dalam keadaan tereksitasi (isomer). Nuklida yang mengalami peluruhan gamma tidak berubah menjadi nuklida baru.
15. Radiasi yang dipancarkan dalam peluruhan spontan berupa partikel bermuatan seperti partikel  $\alpha$  dan  $\beta$  atau gelombang elektromagnetik seperti sinar  $\gamma$ .
16. Radionuklida meluruh mengikuti persamaan eksponensial berikut

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

17. Umur paro dapat digunakan untuk menentukan laju peluruhan (aktivitas) suatu zat radioaktif. Umur paro adalah waktu yang diperlukan sehingga

jumlah inti atom yang tidak stabil (atau aktivitas) berkurang menjadi separonya.

18. Ionisasi adalah proses terlepasnya elektron dari atom sehingga terbentuk pasangan ion.
19. Radiasi pengion adalah radiasi yang dapat menyebabkan proses ionisasi, baik secara langsung (radiasi  $\alpha$  dan  $\beta$ ) maupun secara tidak langsung (radiasi  $\gamma$  dan neutron).
20. Eksitasi adalah proses perpindahan elektron dari suatu orbit (lintasan) ke orbit yang lebih luar (energi lebih tinggi). Sebaliknya adalah proses de-eksitasi yaitu perpindahan elektron dari suatu orbit ke orbit yang lebih dalam dengan memancarkan sinar-X karakteristik.
21. Radiasi  $\alpha$  disebut sebagai radiasi pengion kuat, radiasi  $\beta$  disebut sebagai radiasi pengion sedang, dan radiasi  $\gamma$  dan sinar-X disebut sebagai radiasi pengion yang lemah.
22. Daya tembus radiasi  $\alpha$  sangat kecil, radiasi  $\beta$  sedang dan radiasi  $\gamma$  dan sinar-X sangat besar.
23. Radiasi beta yang dibelokkan oleh medan listrik inti atom akan menghasilkan sinar-X bremsstrahlung.
24. Fraksi energi radiasi beta yang berubah menjadi bremsstrahlung sebanding dengan energi maksimal partikel beta dan nomor atom bahan.
25. Hasil Interaksi sinar  $\alpha$  dan sinar-X dengan materi adalah efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan.
26. Efek fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron dari orbitnya ketika atom menyerap seluruh energi foton yang mengenainya.
27. Efek Compton adalah peristiwa terlepasnya elektron dari orbitnya ketika atom menyerap sebagian energi foton yang mengenainya dan menghamburkan sebagian energi lainnya.

28. Produksi pasangan adalah terbentuknya pasangan elektron dan positron ketika energi foton diserap seluruhnya oleh pengaruh medan inti atom.
29. Hasil Interaksi neutron dengan materi adalah proses tumbukan elastik, tak elastik, dan reaksi inti (penangkapan neutron).
30. Tumbukan elastik terjadi bila neutron menumbuk bahan dengan nomor atom rendah, misalnya hidrogen. Tumbukan tak elastis terjadi bila neutron menumbuk bahan dengan nomor atom yang lebih besar.
31. Reaksi inti atau penangkapan neutron oleh inti atom mungkin terjadi bila energi neutron sudah sangat lemah (neutron termal dengan energi  $< 0,025$  eV).
32. Sumber radiasi dapat dibedakan menjadi sumber radiasi alam dan sumber radiasi buatan.
33. Sumber radiasi alam berasal dari tiga sumber utama yaitu radiasi kosmik, terestrial, dan internal.
34. Sumber radiasi buatan dapat berupa radionuklida, pesawat sinar-X, reaktor nuklir, dan akselerator.
35. Radionuklida buatan dihasilkan melalui reaksi fisi, aktivasi neutron, atau penembakan partikel/ion.

**SOAL LATIHAN**

1. Yang dimaksud dengan umur paro (*half life*) adalah:
  - a. waktu yang diperlukan agar aktivitas zat radioaktif bertambah separo dari nilai aktivitas mula-mula
  - b. waktu yang diperlukan aktivitas zat radioaktif bertambah menjadi dua kalinya
  - c. waktu yang diperlukan aktivitas zat radioaktif berkurang menjadi separo dari nilai aktivitas mula-mula
  - d. waktu yang diperlukan untuk menurunkan aktivitas radiasi
  
2. Suatu zat radioaktif dengan umur paro pendek akan menyebabkan:
  - a. konstanta peluruhannya besar dan lambat meluruhnya
  - b. konstanta peluruhannya kecil dan cepat meluruhnya
  - c. konstanta peluruhannya tetap dan aktivitasnya tetap
  - d. konstanta peluruhannya besar serta lebih cepat meluruhnya
  
3. Umur paro Au-198 adalah 2,70 hari. Kalau aktivitas awal 35 curie, berapakah aktivitasnya setelah 8,1 hari kemudian dinyatakan dalam persen?
  - a. 7,5 %
  - b. 12,5%
  - c. 15%
  - d. 8%
  
4. Pengukuran aktivitas radiasi dua sumber radiasi sesuai data di bawah ini:

Waktu	Aktivitas Sumber A	Aktivitas Sumber B
Senin, jam 8.00	300 Ci	200 Ci
Kamis, jam 8.00	150 Ci	25 Ci

Selisih umur paro kedua sumber radiasi tersebut:

- a. 1 hari
  - b. 2 hari
  - c. 3 hari
  - d. 4 hari
- 
5. Berapakah jumlah radiasi gamma dengan energi 1,332 Mev yang akan dipancarkan per detik oleh nuklida Co-60 dengan aktivitas 10.000 Bq?
    - a.  $1,99 \times 10.000$
    - b. 10.000

c.  $0,99 \times 10.000$

d.  $0,01 \times 10.000$

6. Sifat- sifat dan kaidah peluruhan radiasi gamma adalah:
- Peluruhan gamma menyebabkan perubahan nomor atom dan nomor massa bukan partikel gelombang elektromagnetik
  - Dapat dibelokkan oleh medan magnet
  - Tidak tampak dan dapat melakukan ionisasi secara tidak langsung
  - Peluruhan gamma dapat mengikuti peluruhan alpha dan beta
7. Apabila partikel beta atau elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi menumbuk suatu bahan, maka akan terjadi radiasi bremsstrahlung. Bagian dari energi partikel beta atau elektron yang menjadi bremsstrahlung akan:
- Tergantung pada nomor masa dan energi bahan yang ditumbuk oleh partikel beta/ elektron
  - Tergantung pada banyaknya neutron yang terdapat bahan dan energi partikel beta/elektron
  - Tergantung pada energi energi beta/elektron yang bergerak cepat dan nomor atom bahan yang ditumbuknya
  - Hanya tergantung pada nomor atom bahan yang ditumbuknya.
8. Yang dimaksud ionisasi adalah:
- Dikeluarkannya elektron yang berasal dari inti atom dan terjadinya proton
  - Dikeluarkannya elektron dari orbitnya untuk menjadi elektron bebas dan atom sisa menjadi bermuatan positif
  - Ditangkapnya elektron yang berasal dari luar atom oleh inti atom dan menjadikan inti atom bermuatan positif
  - Ditangkapnya elektron orbital oleh inti atom dan menjadikan atom tidak stabil



9. Elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi, apabila melintas dekat ke inti suatu atom, maka daya tarik elektrostatis inti atom yang kuat akan menyebabkan elektron membelok dengan tajam. Peristiwa tersebut dikenal sebagai:
- a. Sinar-X bremsstrahlung
  - b. Efek foto listrik
  - c. Efek Compton
  - d. Sinar-X diskrit
10. Sinar-X karakteristik adalah:
- a. Sinar-X yang kontinu dan berasal dari pesawat sinar-X sebagai akibat dan terhentinya elektron yang berasal dari luar tabung sinar-X
  - b. Radiasi elektron magnet yang menyertai transisi inti
  - c. Radiasi elektron magnet yang dipancarkan atom sebagai akibat dari transisi elektron orbital atom tersebut
  - d. Radiasi yang dipancarkan atom sebagai akibat dari transisi elektron orbital atom tersebut mempunyai panjang gelombang tertentu yang besarnya tergantung pada selisih energi elektron orbital tersebut
11. Nilai koefisien atenuasi linear dari bahan yang dilalui sinar-X:
- a. Sama untuk semua jenis bahan
  - b. Tidak tergantung pada energi radiasi dan nomor atom bahan yang dilalui
  - c. Tergantung pada energi radiasi dan nomor atom bahan yang dilalui
  - d. Hanya tergantung pada energi radiasi
12. Apabila suatu neutron dalam inti zat radioaktif berubah menjadi proton maka zat radioaktif tersebut memancarkan :
- a. Partikel alpha
  - b. Partikel beta
  - c. Sinar gamma
  - d. Neutron

## DAFTAR PUSTAKA

1. Gautreau, R. and SAVIN, W., 1995, , *Fisika Modern* (terjemahan oleh Hans J. Wopspakirk), Penerbit Erlangga, Jakarta
2. KNOLL, F.L., 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Son's, New York.
3. Herman Chamber, 1996, *Introduction to Health Physics* 3ed., McGraw-Hill Company, Inc.
4. Irving Kaplan, 1979, *Nuclear Physics*, 2nd ed., Addison-Wesley Publishing Comp.
5. Louis Cartz, 1995, *NonDestructive Testing: Radiography, Ultrasonic, Liquid Penetrant, Magnetic Particle, Eddy Current* " ASM International.
6. Technical Report Series No. 280, Training Course on Radiation Protection, International Atomic Energy Agency, Vienna (1988).
7. Mc. Kracken, 1992, *Introduction to Nuclear Physics*, McGraw-Hill Company Inc. New York

## Lampiran 1. Sistem Periodik Unsur

1		2										13	14	15	16	17	18
Hydrogen 1 H 1.01												Boron 5 B 10.81	Carbon 6 C 12.01	Nitrogen 7 N 14.01	Oxygen 8 O 16.00	Fluorine 9 F 19.00	Neon 10 Ne 20.18
Lithium 3 Li 6.94	Beryllium 4 Be 9.01											Aluminum 13 Al 26.98	Silicon 14 Si 28.09	Phosphorus 15 P 30.97	Sulfur 16 S 32.07	Chlorine 17 Cl 35.45	Argon 18 Ar 39.95
Sodium 11 Na 22.99	Magnesium 12 Mg 24.31	Scandium 21 Sc 44.96	Titanium 22 Ti 47.88	Vanadium 23 V 50.94	Chromium 24 Cr 52.00	Manganese 25 Mn 54.94	Iron 26 Fe 55.85	Cobalt 27 Co 58.93	Nickel 28 Ni 58.69	Copper 29 Cu 63.55	Zinc 30 Zn 65.39	Gallium 31 Ga 69.72	Germanium 32 Ge 72.61	Arsenic 33 As 74.92	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.90	Krypton 36 Kr 83.80
Rubidium 37 Rb 85.47	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.91	Zirconium 40 Zr 91.22	Niobium 41 Nb 92.91	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.91	Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.87	Cadmium 48 Cd 112.41	Indium 49 In 114.82	Tin 50 Sn 118.71	Antimony 51 Sb 121.76	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.90	Xenon 54 Xe 131.29
Cesium 55 Cs 132.91	Barium 56 Ba 137.33	Lanthanum 57 La 138.91	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.95	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.21	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.22	Platinum 78 Pt 195.08	Gold 79 Au 196.97	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.38	Lead 82 Pb 207.20	Bismuth 83 Bi 208.98	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Lanthanum 89 La (227)	Rutherfordium 104 Rf (267)	Dubnium 105 Db (268)	Seaborgium 106 Sg (271)	Bohrium 107 Bh (272)	Hassium 108 Hs (270)	Mtnerium 109 Mt (276)	Darmstadtium 110 Ds (281)	Roentgenium 111 Rg (280)	Copernicium 112 Cn (285)	Ununtrium 113 Uut (284)	Ununquadium 114 Uuq (289)	Ununpentium 115 Uup (288)	Ununhexium 116 Uuh (293)	Ununseptium 117 Uus (294?)	Ununoctium 118 Uuo (294)
		*lanthanides															
		**actinides															

<http://www.sciencegeek.net/tables/ClassesTable.pdf>



### Lampiran 3. Peluruhan berantai U-238 dan Th-232

