

PENGANTAR FISIKA RADIASI

(Pelatihan Petugas Iradiator)



Emy Mulyani

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN

2021



OUTLINES

01

PENDAHULUAN

02

STRUKTUR ATOM DAN INTI

03

INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

04

SUMBER RADIASI



PENDAHULUAN

Konstanta fisis, besaran dan satuan,
klasifikasi radiasi, besaran dan satuan
dalam fisika radiasi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Beberapa konstanta dalam fisika inti

- Speed of light in vacuum $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Electron charge $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Electron rest mass $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$
- Proton rest mass $m_p = 938.2 \text{ MeV}/c^2$
- Neutron rest mass $m_n = 939.3 \text{ MeV}/c^2$
- Atomic mass unit $u = 931.5 \text{ MeV}/c^2$
- Konstanta Plank $h = 6.6261 \times 10^{-23} \text{ J.s}$
- ...

1. PENDAHULUAN

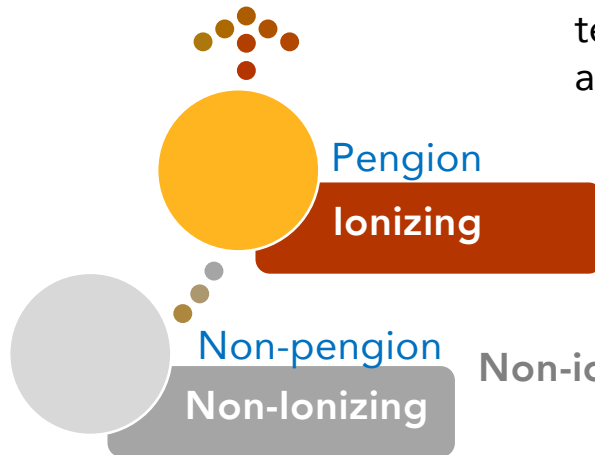
1.2 Physical quantities and units - Besaran fisis dan satuan

- **Besaran fisis** di nyatakan dengan nilai dan satuan.
- **Simbol** untuk besaran fisis dituliskan secara italic/miring
 - Misal : $m = 32 \text{ kg}$; $E = 15 \text{ MeV}$
- Nilai numerik dan satuan di pisahkan dengan spasi
 - Misal : 21 kg **BUKAN** 21kg; 15 MeV and **BUKAN** 15MeV
- Dalam sistem metric, besaran baku dalam **sistem SI**

Quantity	SI unit
length	meter (m)
mass m	kilogram (kg)
time t	second (s)
electric current (I)	ampere (A)
temperature (T)	kelvin (K)
amount of substance	mole (mol)
luminous intensity	candela (cd)

1. PENDAHULUAN

1.3 Classification of radiation



Ionizing radiation dalam energi yang terbentuk akibat lepasnya electron dari atom/molekul dari suatu material.

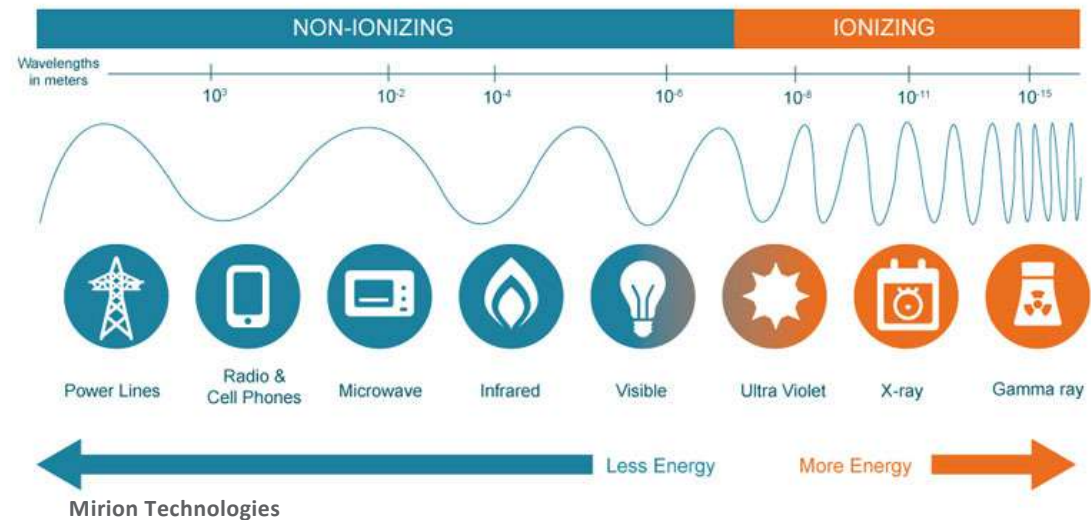
- Directly ionizing (charged particles)
Electrons, protons, alpha particles, etc.
- Indirectly ionizing (neutral particles)
Photons (x-rays, gamma rays), neutrons

Non-ionizing radiation ada di sekitar kita dan berasal dari berbagai macam sumber.

Radiation

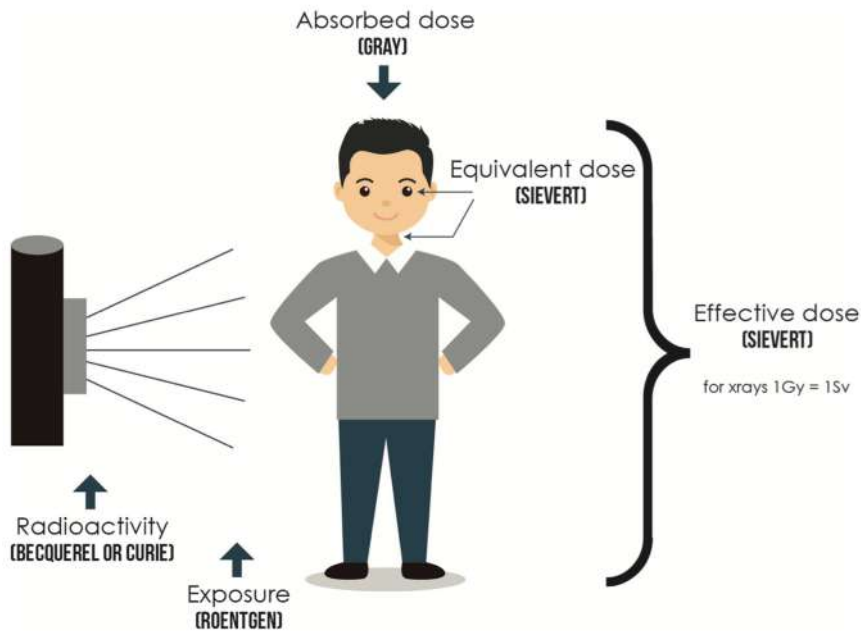
Radiasi dapat di deskripsikan sebagai energi/partikel dari sebuah sumber, bergerak dalam ruang atau medium yang lain.

The scale of electromagnetic radiation



1. PENDAHULUAN

1.4 Radiation quantities and units



Quantity	Definition	SI unit	Old unit	Conversion
Exposure X	$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m_{\text{air}}}$	$\frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C}}{\text{kg air}}$	$1 \text{ R} = \frac{1 \text{ esu}}{\text{cm}^3 \text{ air}_{\text{STP}}}$	$1 \text{ R} = \frac{2.58 \times 10^{-4} \text{ C}}{\text{kg air}}$
Dose D	$D = \frac{\Delta E_{\text{ab}}}{\Delta m}$	$1 \text{ Gy} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$1 \text{ rad} = 100 \frac{\text{erg}}{\text{g}}$	$1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Equivalent dose H	$H = D w_R$	1 Sv	1 rem	$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
Activity \mathcal{A}	$\mathcal{A} = \lambda N$	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$	$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1}$	$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ Ci}}{3.7 \times 10^{10}}$

<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.01.008>

Exposure/paparan radiasi menunjukkan ionisasi pada udara yang terjadi karena radiasi pengion dari foton berenergi tinggi (yaitu sinar-X dan sinar gamma).

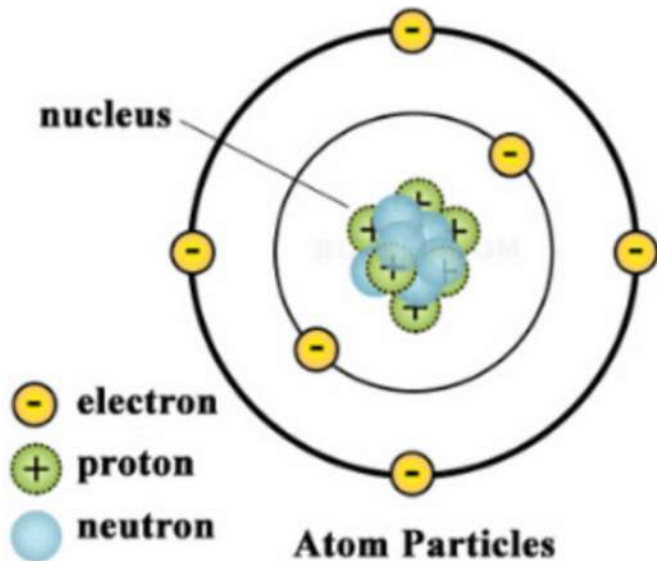


STRUKTUR ATOM DAN INTI

Model atom Thomson, Rutherford,
Bohr serta konsep radiaktivitas

2. STRUKTUR ATOM DAN INTI

2.1 Basic definitions for atomic structure



Nomor masa (A) → jumlah nucleus (nomor atom Z + neutron N)



Nomor atom (Z) → jumlah proton dan elektron

www.electrical4u.com

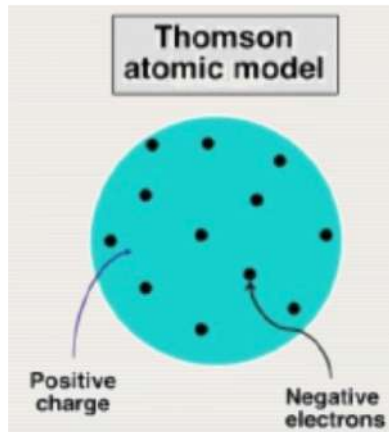
For example:

Cobalt-60 dengan 27 protons dan 33 neutrons diidentifikasi dengan ${}^{60}_{27}\text{Co}$

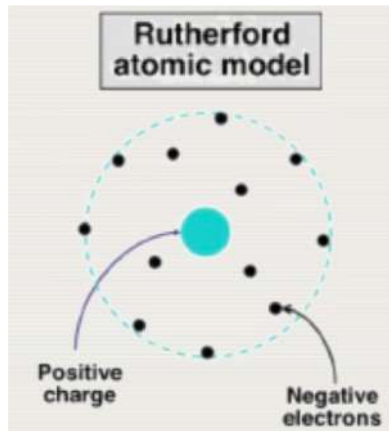
Radium-226 dengan 88 protons dan 138 neutrons diidentifikasi dengan ${}^{226}_{88}\text{Ra}$

2. STRUKTUR ATOM DAN INTI

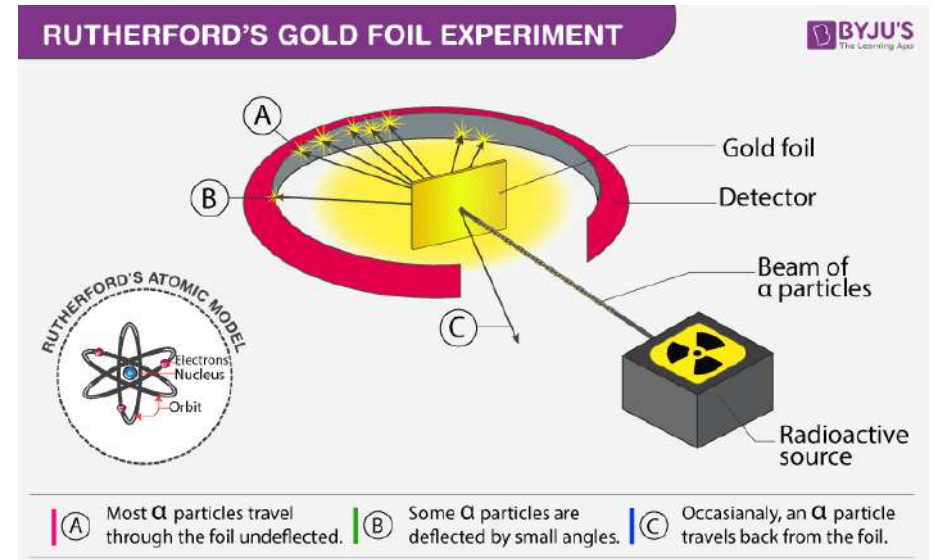
2.2 Rutherford's model of the atom



Thomson atomic model, muatan positif dan negative terdistribusi di seluruh atom (uniformly)



Rutherford's atomic model berdasarkan pada hasil experiment Geiger-Marsden (1909) yaitu hamburan 5,5 MeV partikel alpha pada 10^{-6} m foil emas.



Geiger and Marsden menemukan bahwa :

- lebih dari 99 % partikel alpha terhambur dengan sudut kurang dari 3° (Gaussian shape)
- Sekitar 1 dalam 10^4 alpha particles terhambur dengan sudut mencapai 90°
- Ernest Rutherford berkesimpulan bahwa hasil ini tidak sesuai dengan Thomson's atomic model sehingga mengusulkan konsep baru **Rutherford's atomic model**

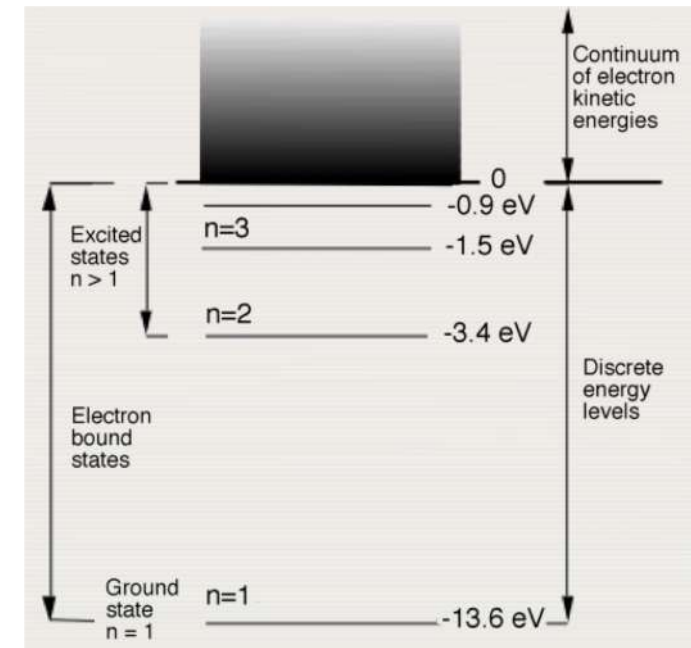
Masa dan muatan positif terkonsentrasi pada inti atom dengan ukuran pada orde 10^{-15} m
Muatan negatif mengelilingi inti dengan radius pada orde 10^{-10} m

2. STRUKTUR ATOM DAN INTI

2.3 Bohr's model of the hydrogen atom

Niels Bohr in 1913 mengkombinasi konsep Rutherford's dengan ide Planck's dalam kuantisasi energi.

1. Elektron-elektron dalam mengelilingi inti atom berada pada tingkat- tingkat energi atau orbit tertentu. Tingkat-tingkat energi ini dilambangkan dengan $n=1$, $n=2$, $n=3$, dan seterusnya.
2. Selama elektron berada pada tingkat energi tertentu, misalnya $n=1$, energi elektron tetap. Artinya, tidak ada energi yang diemisikan (dipancarkan) maupun diserap.
3. Elektron dapat beralih dari satu tingkat energi ke tingkat energi lain disertai perubahan energi. Besarnya perubahan energi sesuai dengan persamaan Planck, $\Delta E=h\nu$.
4. Tingkat energi elektron yang dibolehkan memiliki momentum sudut tertentu



IAEA publication (ISBN 92-0-107304-6)

Menurut Bohr, elektron berada pada tingkat energi tertentu. Jika elektron turun ke tingkat energi yang lebih rendah, akan disertai emisi cahaya dengan spektrum yang khas.

2. STRUKTUR ATOM DAN INTI

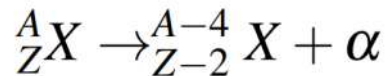
2.4 Radioactivity Decay – Peluruhan radioaktivitas

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

Peluruhan

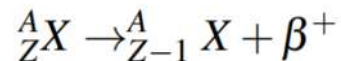
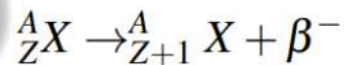
1

Peluruhan Alpha



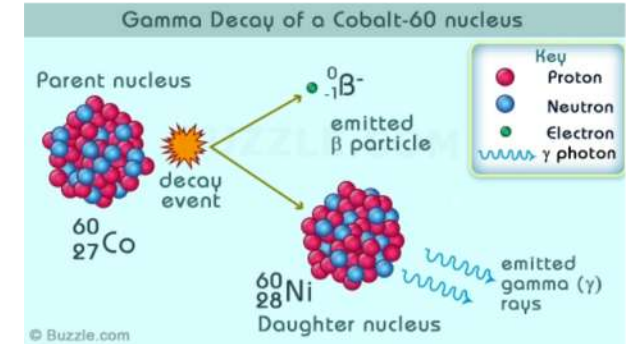
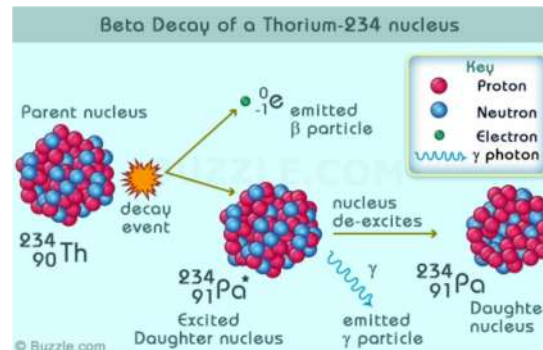
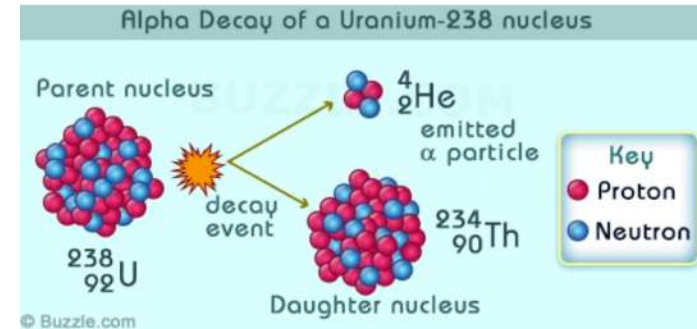
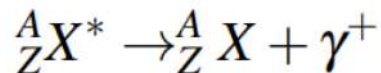
2

Peluruhan Beta



3

Peluruhan 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).

2. STRUKTUR ATOM DAN INTI

2.5 Radioactivity

Suatu inti yang tidak stabil akan berubah menjadi lebih 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 λ .

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N$$

Aktivitas radioaktif didefinisikan sebagai jumlah peluruhan yang terjadi dalam satu waktu, atau dengan kata lain laju peluruhan.

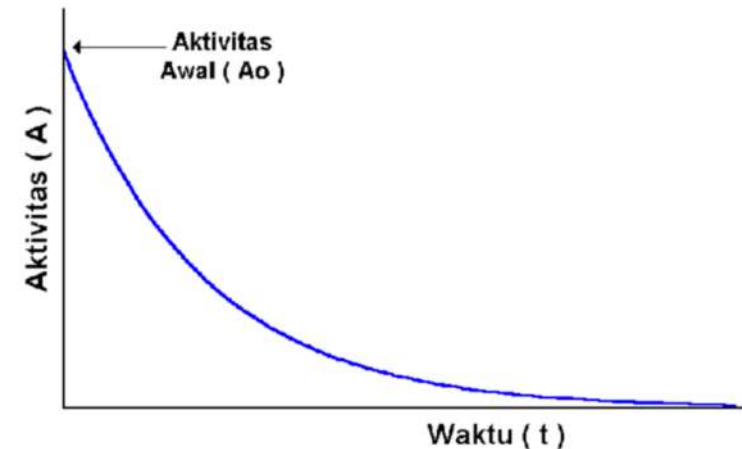
$$A = \lambda N$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t},$$

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

dengan N_t adalah jumlah inti atom yang tidak stabil saat pengukuran, N_0 jumlah inti atom yang tidak stabil saat mula mula, λ konstanta peluruhan, dan t adalah selang waktu antara saat mula-mula sampai saat pengukuran.

A adalah aktivitas saat t , dan A_0 adalah aktivitas mula-mula.

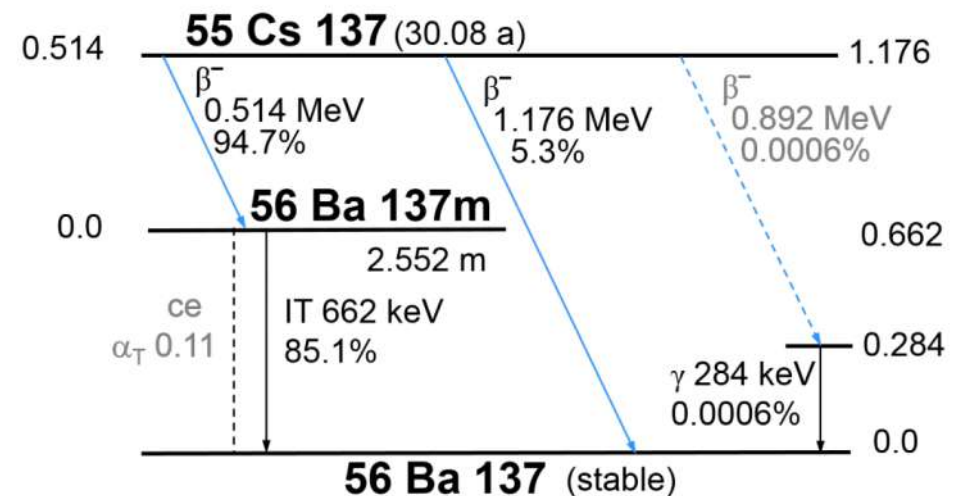
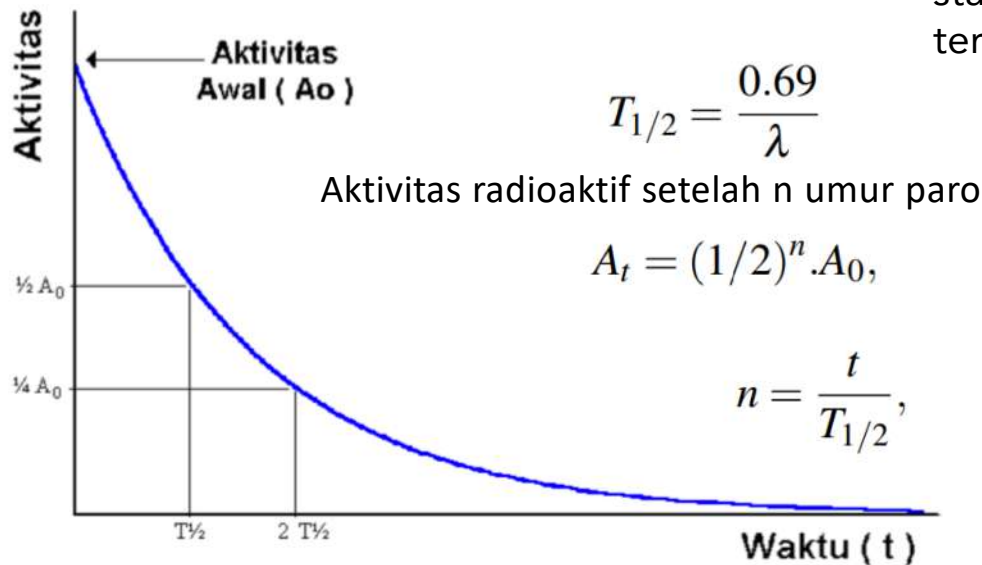


Umur paro ($T^{1/2}$) didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan agar nilai aktivitas suatu radioaktif menjadi setengah dari nilai aktivitas mula-mula. Setiap radionuklida mempunyai umur paro yang unik dan tetap.

Sebagai contoh:

- $T^{1/2}$ Co-60 adalah 5,27 tahun
- $T^{1/2}$ Ir-192 adalah 74 hari

Proses peluruhan suatu radionuklida dari keadaan tidak stabil menjadi stabil seringkali mengalami tahapan tertentu yang dapat dilihat pada **skema peluruhan**





INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

Alpha, beta, gamma, x-ray,
neutron

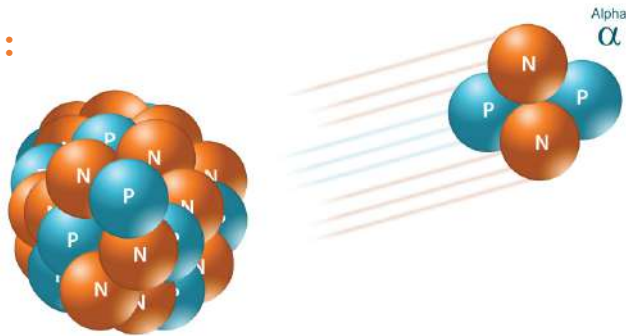
3. INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

3.1 Interaksi radiasi dengan materi

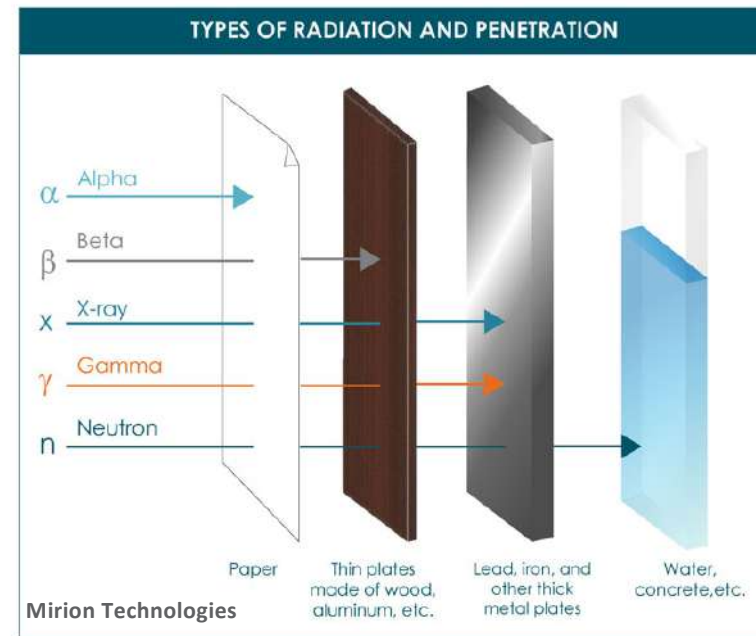
Radiasi partikel bermuatan	<ul style="list-style-type: none">• alpha• beta
Radiasi partikel tak bermuatan	<ul style="list-style-type: none">• neutron
Photon	<ul style="list-style-type: none">• gamma• X-ray

Semua tipe radiasi ini disebabkan oleh atom yang tidak stabil (kelebihan energi atau masa), sehingga untuk mencapai kondisi stabil, maka perlu merilis energi atau masa tersebut dalam bentuk radiasi.

Contoh :



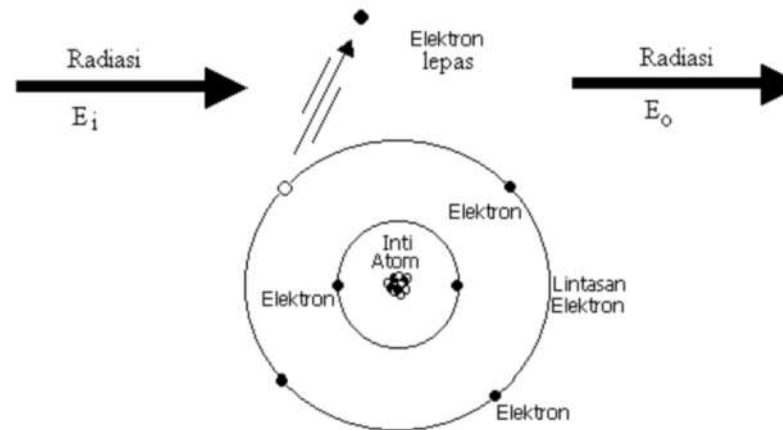
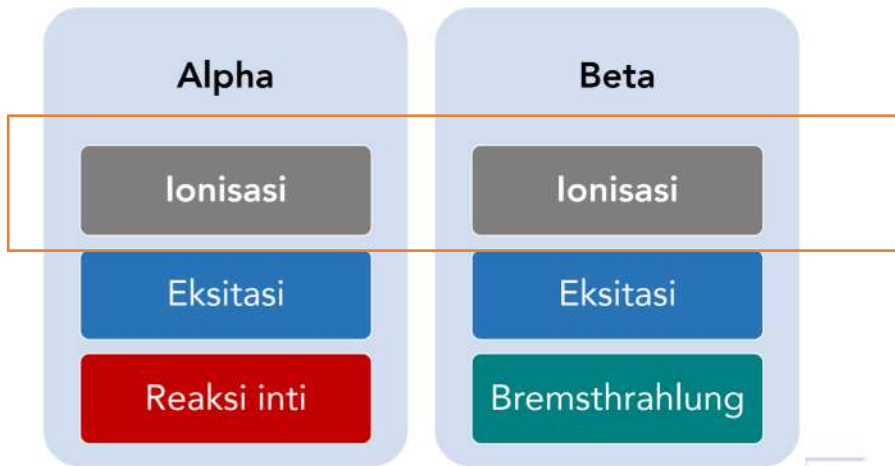
Emisi partikel alpha dari inti atom. Partikel ini dapat berinteraksi kuat dengan materi, dan jika di udara maka hanya dapat bergerak dalam beberapa cm saja.



3. INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

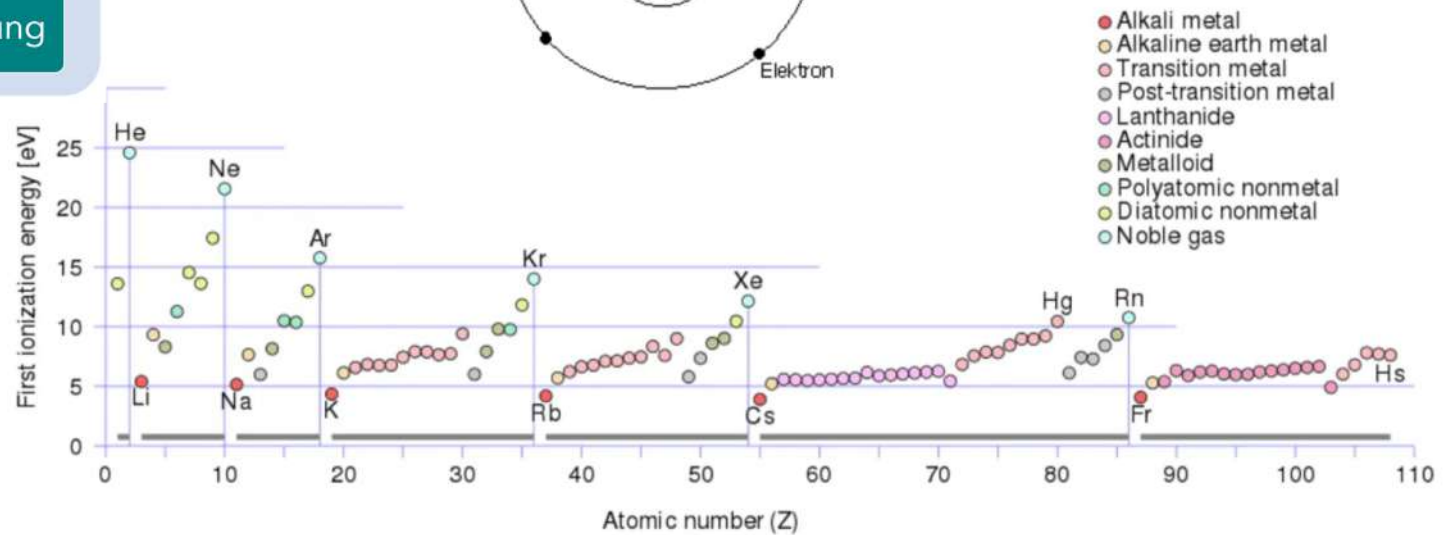
3.2 Interaksi alpha dan beta dengan materi

Peristiwa yang mungkin terjadi apabila alpha/beta berinteraksi dengan materi:

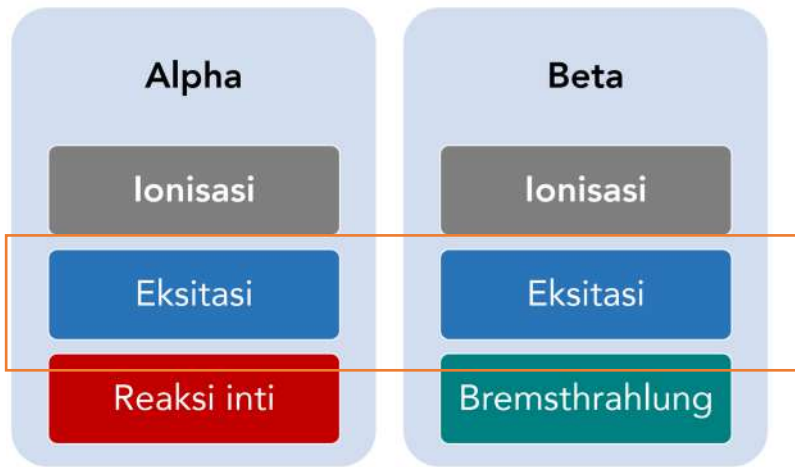


Ionisasi adalah terlepasnya elektron dari orbitnya yang menjadi elektron bebas dan dihasilkan atom bermuatan positif.

Tiap element memiliki energi ionisasi yang berbeda.

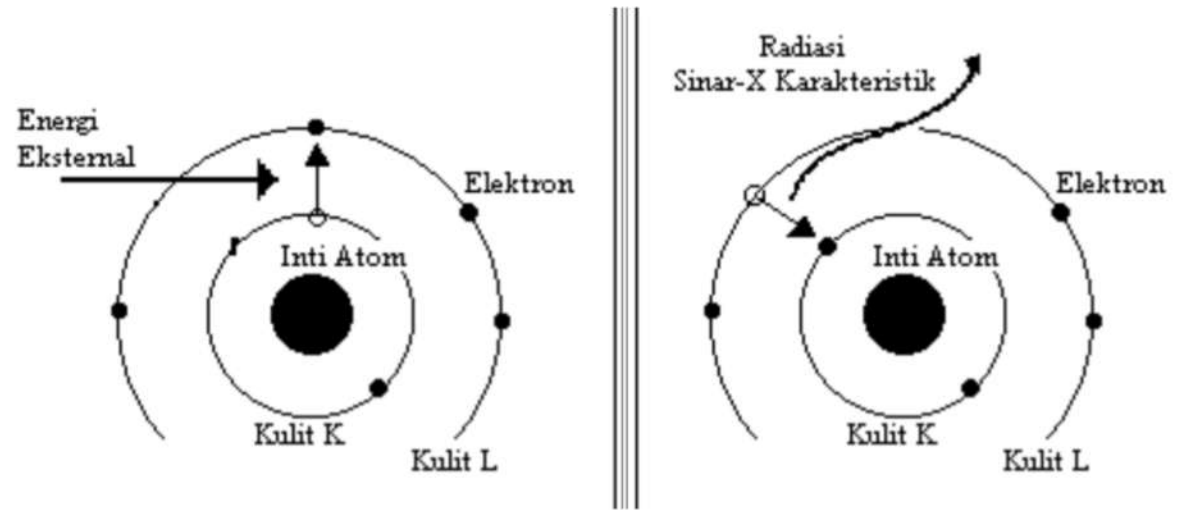


Source: wikipedia.org License: CC BY-SA 3.0



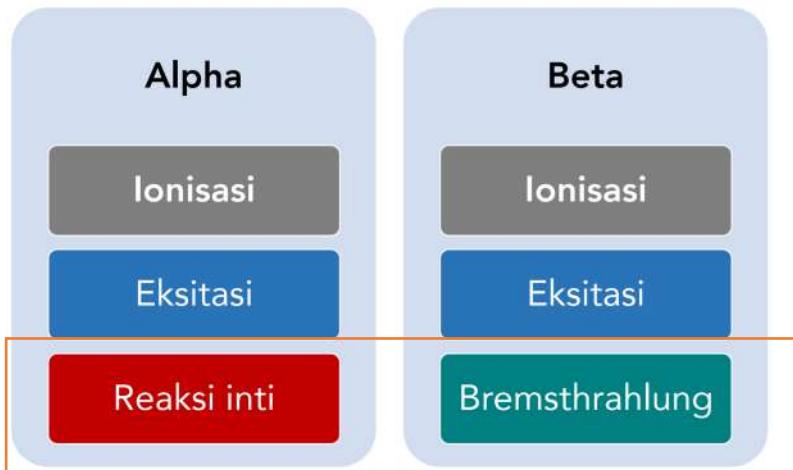
Eksitasi adalah berpindahnya elektron ke kulit yang lebih luar karena adanya energi eksternal. Energi yang dibutuhkan untuk melakukan eksitasi tidak sebesar energi yang dibutuhkan untuk mengionisasi. Setelah mengalami berkali-kali proses eksitasi, maka energi radiasinya akan habis.

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



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)

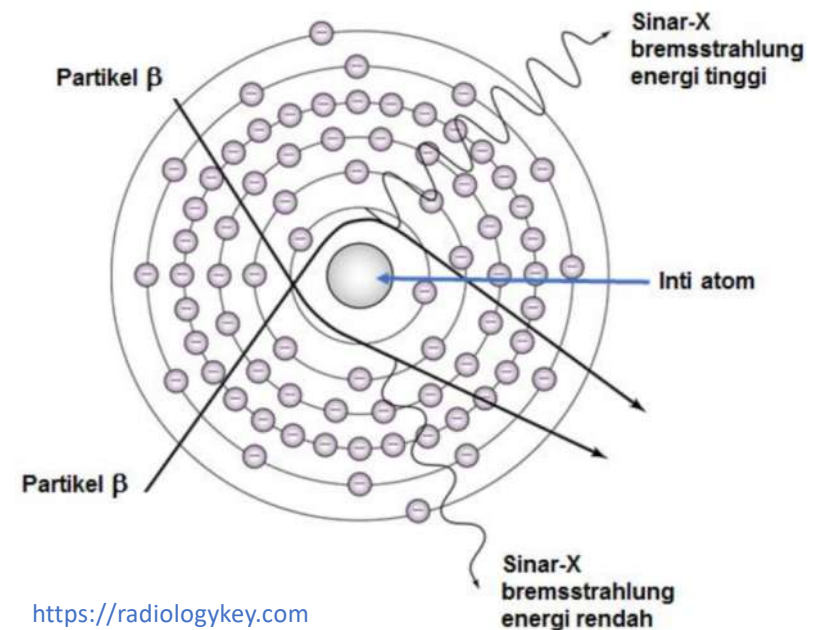
$$E_x = E_a - E_t$$



- **Reaksi inti**, yaitu perubahan inti atom materi yang dilaluinya menjadi inti atom yang lain, biasanya berubah menjadi inti atom yang tidak stabil.
- 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



- **Proses bremsstrahlung** adalah pemancaran radiasi gelombang elektromagnetik (sinar-X kontinu) 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 mendekati inti atom



<https://radiologykey.com>

3. INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

3.3 Interaksi radiasi gamma dan x-ray dengan materi

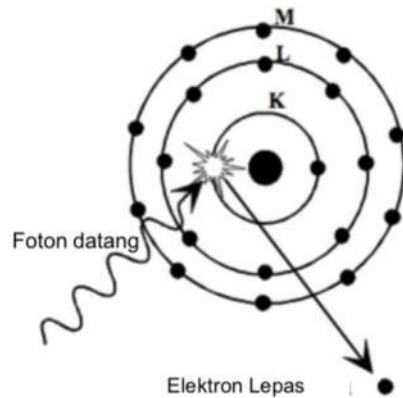
Fotolistrik

Energi < 100 keV

seluruh energi diserahkan ke elektron

Elektron "terpental" lepas dari orbit

Dihasilkan ion + dan elektron



Hamburan Compton

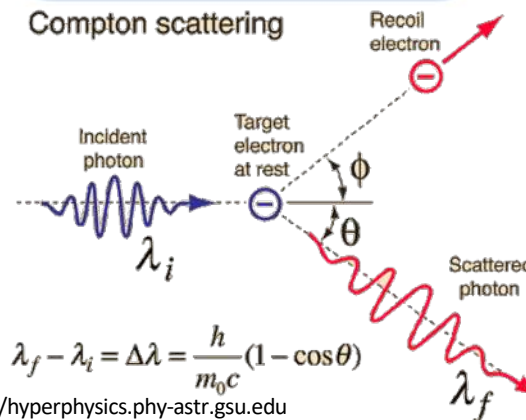
Energi sedang
100 keV < E < 1 MeV

melepaskan elektron di kulit terluar

Sebagian energi diberikan ke elektron

foton dengan energi lebih rendah dan arah berubah

Compton scattering



<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

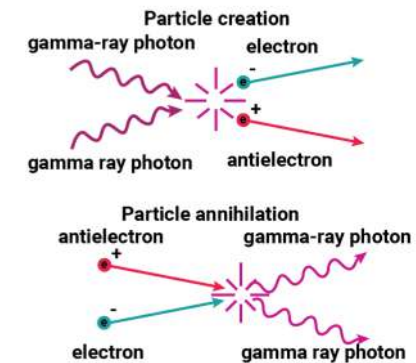
Produksi Pasangan

E > 1,02 MeV.

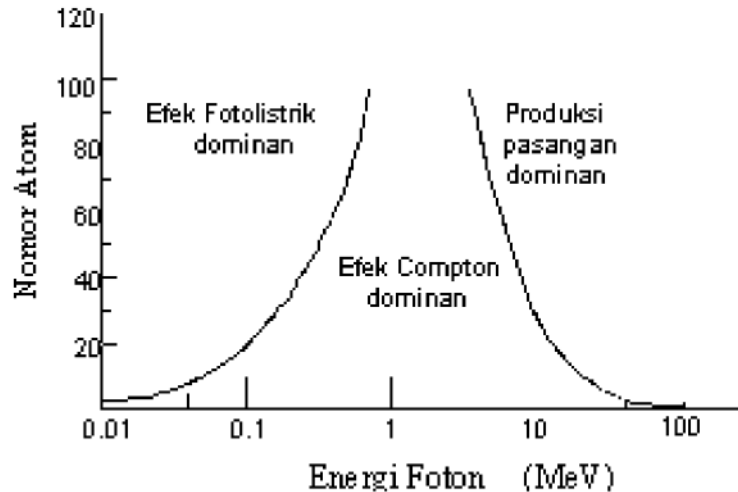
foton lenyap, muncul sepasang elektron-positron

Positron: bermuatan positif

Positron bertemu dengan elektron bebas, terjadi annihilasi, foton energi 511 KeV



Probabilitas interaksi foton dengan materi



<http://rcwww.kek.jp/research/egs/egs5.html>

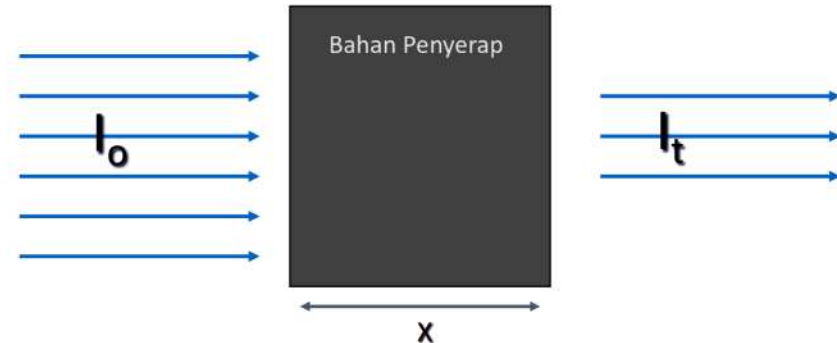
EGS5 Web Page



The EGS (Electron-Gamma Shower) code system is a general purpose package for the Monte Carlo simulation of the coupled transport of electrons and photons in an arbitrary geometry for particles with energies above a few keV up to several hundred GeV (depending on the atomic numbers of the target materials).

Penyerapan 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 dan intensitas yang diteruskan setelah melalui bahan penyerap setebal x adalah sbb :



$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

μ = koefisien serap linier bahan

3. INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI

3.4 Interaksi neutron dengan materi

Neutron adalah partikel yang mempunyai massa tetapi tidak bermuatan, 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.



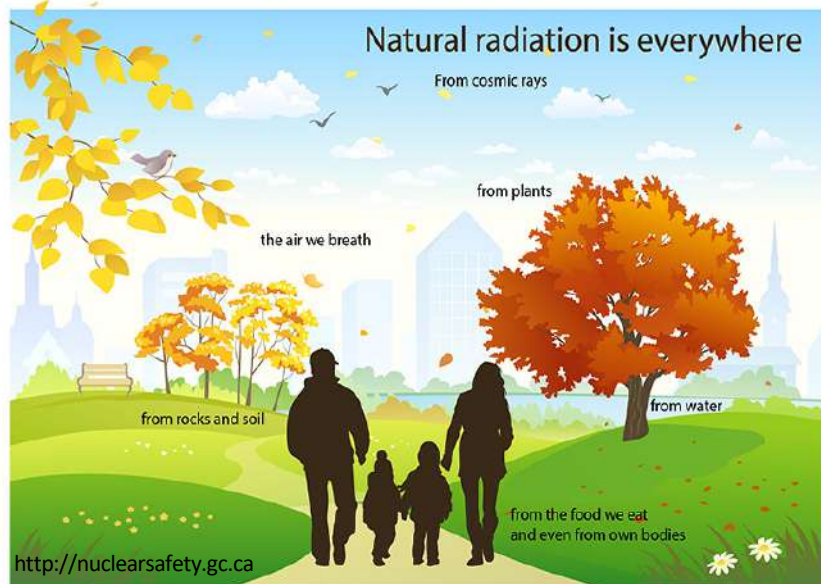


SUMBER RADIASI

Ionizing radiation
(natural and artificial)

4. SUMBER RADIASI (radiasi pengion)

4.1 Radiasi yang terbentuk secara alami



4.2 Radiasi yang terbentuk secara buatan



1

Medical source

including an x-ray, CT scan, nuclear medicine, and a particle accelerator that produce isotopes.



2

Industrial

including nuclear gauges, a smoke detector, and glow in the dark exit sign, irradiator, accelerator, etc.

3

Nuclear fuel cycle

including uranium mining, yellowcake, fuel rods and a nuclear power plant.



References

1. IAEA publication (ISBN 92-0-107304-6): Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1196_web.pdf
2. Diklat pengantar Fisika Radiasi, Pusdiklat BATAN, 2019, <https://storage2k.batan.go.id/index.php/s/PkJwmzKTrNNk3Ck>
3. James E. Martin, Physics for Radiation Protection: A Handbook, 2nd Edition



PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI AKSELERATOR BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

 Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta, 55281

 (0274) 488435 | Fax. (0274) 525 1110

 psta@batan.go.id

