

Besaran dan Satuan Radiasi

Pelatihan bagi Petugas Iradiator

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2026

Nofriady Aziz

BIODATA

Nama : Nofriady Aziz, S.ST, M.Eng

KKPR IBBN DPFK

Pendidikan :

D4 Teknokimia Nuklir STTN – BATAN

S2 Teknik Kimia UGM

Organisasi :

- 1. Sertifikasi Ahli K3 Umum 2019**
- 2. Sekretaris SATGAS K3 2019**
- 3. KETUA SATGAS K3 2020 – 2022**
- 4. PPR 2020 - sekarang**

Pengalaman:

- 1. BPTC Korea 2022**
- 2. ICTP IAEA INES Italy 2022**
- 3. IAEA INRLS France 2023**
- 4. IAEA SEA Austria 2023**
- 5. IAEA SEDO Austria 2023**



0

Tujuan Pembelajaran

Hasil Belajar:

Peserta mampu menjelaskan upaya proteksi dan keselamatan radiasi sesuai peraturan yang berlaku

Indikator Hasil Belajar:

Menjelaskan pengetahuan radiasi dengan benar sesuai dengan panduan yang berlaku

Outline

- **Besaran Fisik**
- **Besaran Proteksi**
- **Aktivitas Radiasi**
- **Waktu Paro**

Atom, Nuklir, Radiasi ...???



RADIASI



Energi yang terpancar dari materi (atom) dalam bentuk partikel atau gelombang.

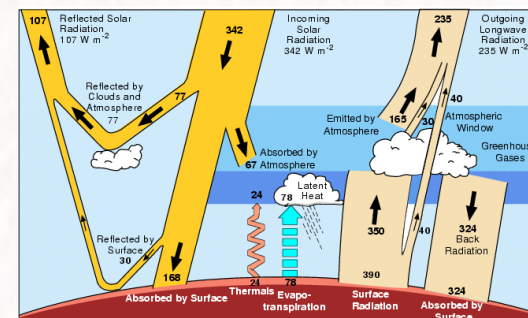
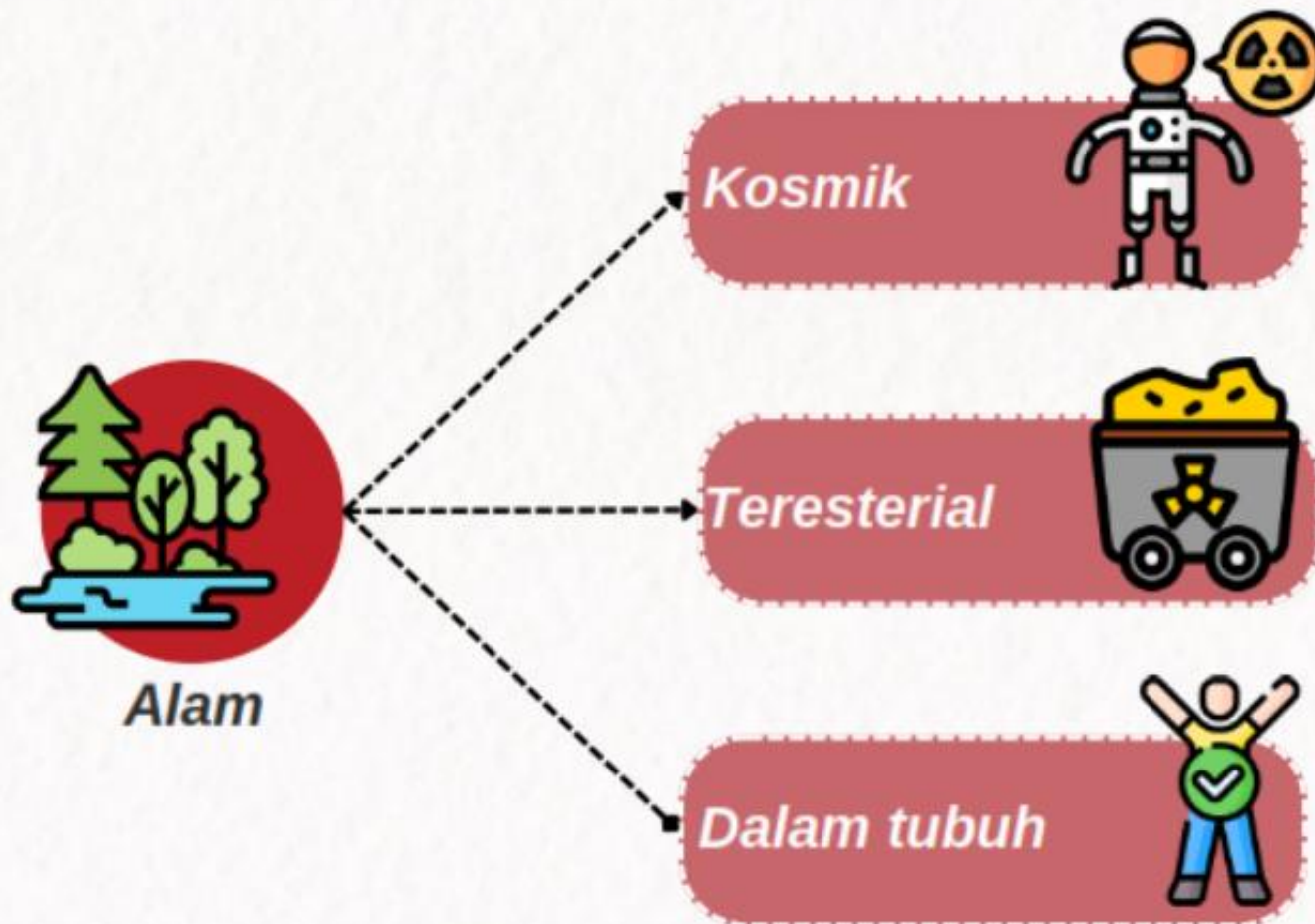


Memancar ke segala arah

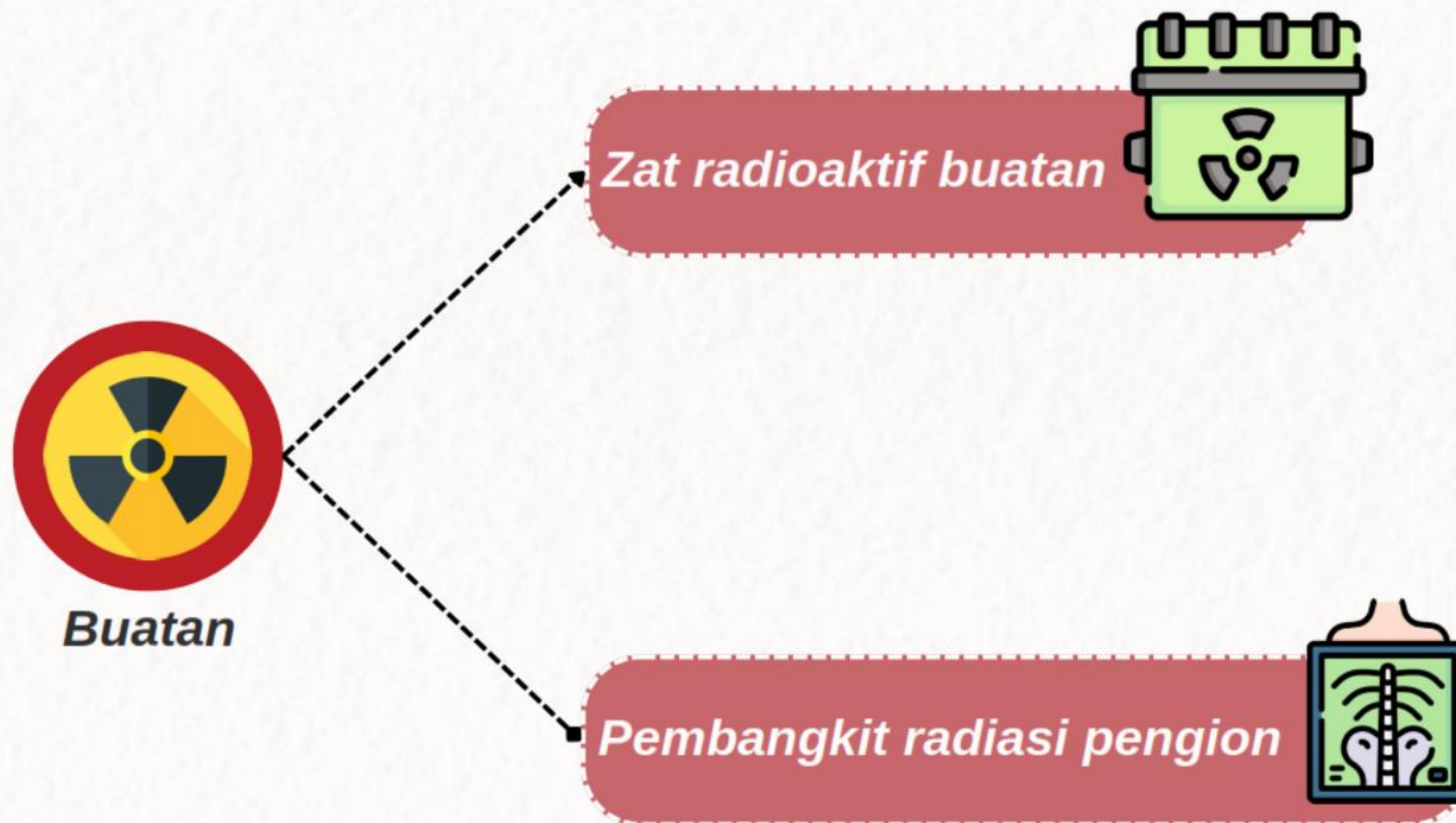


Menembus materi

Sumber Radiasi



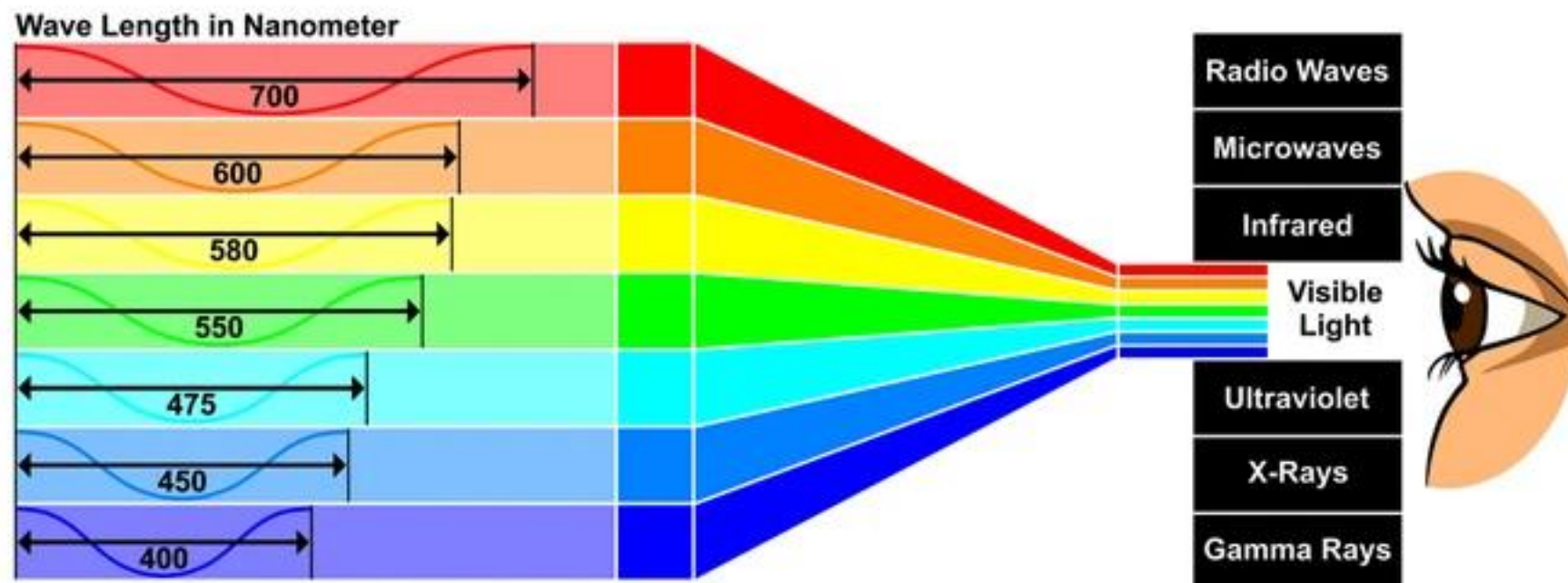
Sumber Radiasi



RADIASI



Energi yang terpancar dari materi (atom) dalam bentuk partikel atau

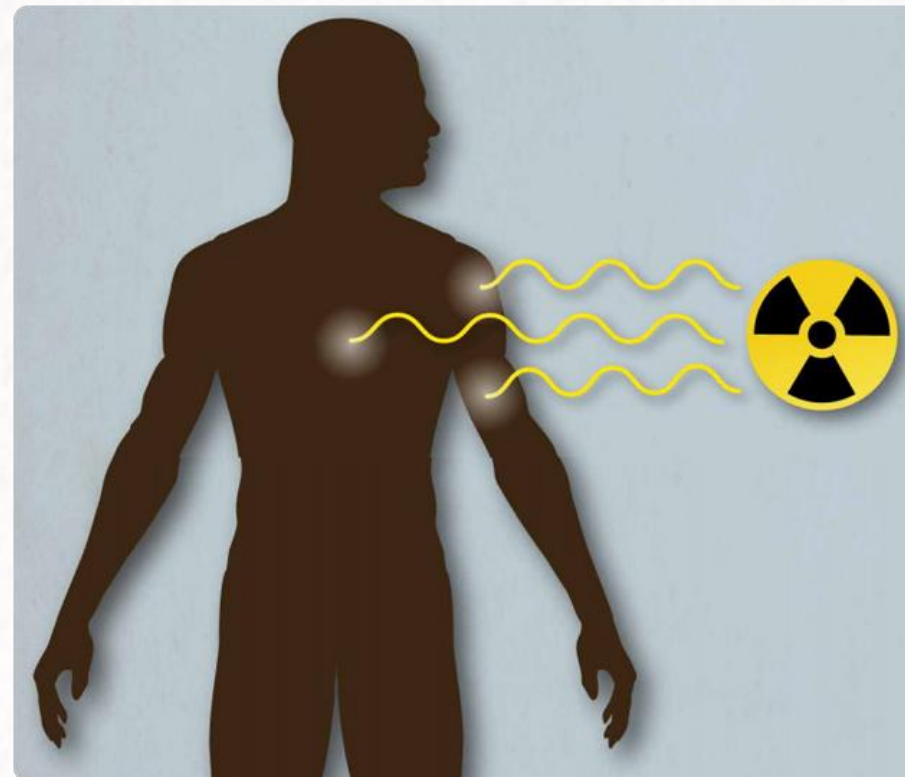


BAGAIMANA MENGUKUR RADIASI?



1

Besaran Fisik Radiasi



Kategori Besaran

Besaran Fisik

- Fluens (Φ) dan fluks (ϕ)
- Energi Fluens (Ψ) dan Laju Energi Fluens ($\dot{\Psi}$)
- Paparan (X)
- KERMA (K)

Besaran Proteksi

- Dosis Serap (D)
- Dosis Ekuivalen (H)
- Dosis Efektif (E)

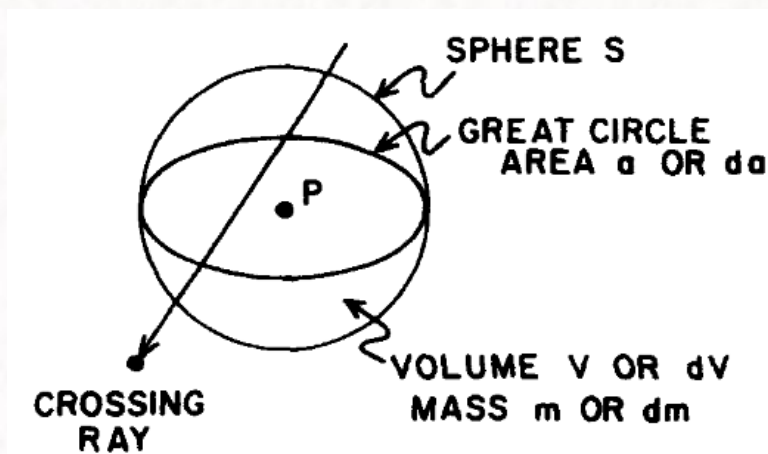
Fluens (Φ) dan Fluks (ϕ)

- **Fluens** merupakan **jumlah radiasi** yang menembus tegak lurus **suatu luasan** (m^{-2}).

$$\Phi = \frac{dN_e}{da}$$

- **Fluks** merupakan **jumlah radiasi** yang menembus tegak lurus **suatu luasan per satuan waktu** ($\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

$$\phi = \frac{d\Phi}{dt}$$



Energi Fluens (Ψ) dan Laju Energi Fluens ($\dot{\Psi}$)

- **Energi fluens** merupakan **energi radian (R)** yang menembus tegak lurus pada **suatu luasan** (J.m^{-2}).

$$\Psi = \frac{dR}{da}$$

- **Laju energi fluens** merupakan **energi fluens per satuan waktu** ($\text{J.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

$$\dot{\Psi} = \frac{d\Psi}{dt}$$

- Laju energi fluens disebut juga sebagai **intensitas**.

Paparan sebagai Kuantitas Radiasi

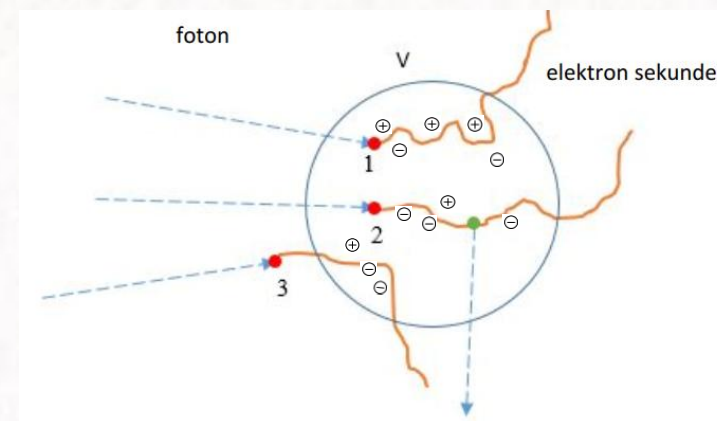
- **Paparan (X)** merupakan **jumlah muatan (Q)** yang terbentuk dalam udara dengan **massa tertentu (m)**.

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

- Satuan baku paparan yaitu *Coulomb per kilogram* (C/kg).
- Satuan lama paparan yaitu Röntgen (R, 1 R = 2.58×10^{-4} C/kg).
- **Laju paparan (\dot{X})** merupakan paparan (X) per **satuan waktu**.
 - Satuan baku paparan yaitu C/kg.jam.
 - Satuan lama paparan yaitu R/jam.

Catatan:

- Hanya untuk sinar X atau sinar gamma.
- Tidak berlaku untuk partikel bermuatan.
- Medium hanya di udara.

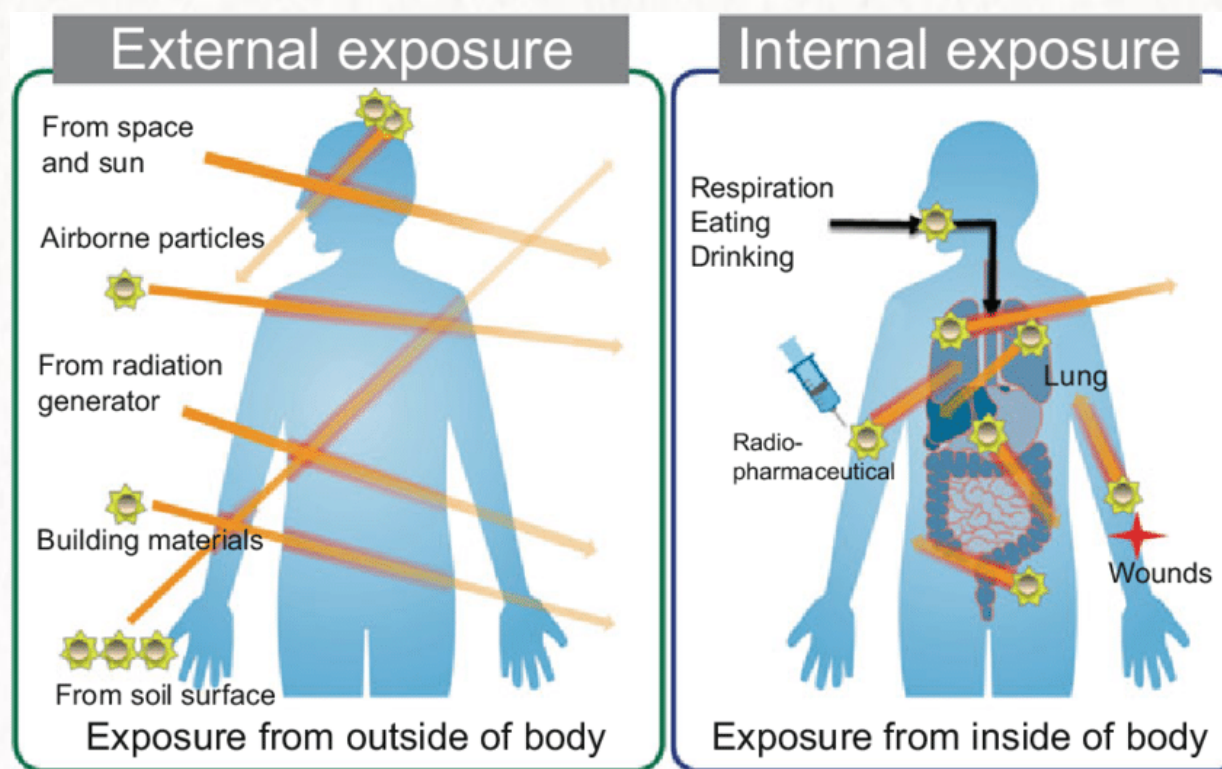


Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, 1986

Paparan dalam Keselamatan Radiasi

Paparan Eksterna : Paparan yang berasal dari **luar** tubuh.

Paparan Interna : Paparan yang berasal dari **dalam** tubuh.



KERMA

- **Kinetic Energy Released per unit MA**ss adalah suatu besaran radiasi yang menyatakan **banyaknya energi kinetik yang ditransfer** ke partikel bermuatan **di suatu volume**.

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

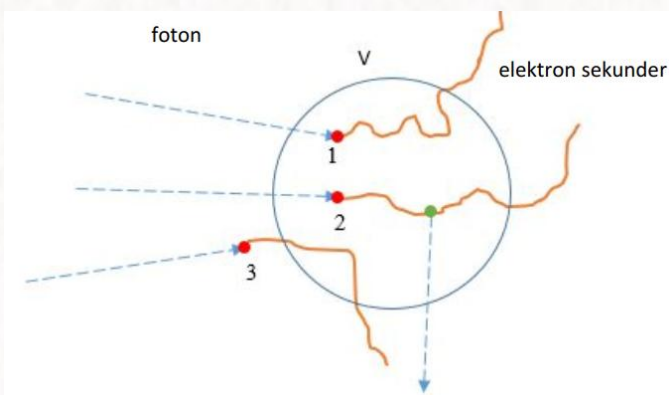
dengan:

K = Kerma (J/Kg)

dE_{tr} = Energi yang ditransfer (J)

dm = Massa pada interaksi energi terjadi (kg)

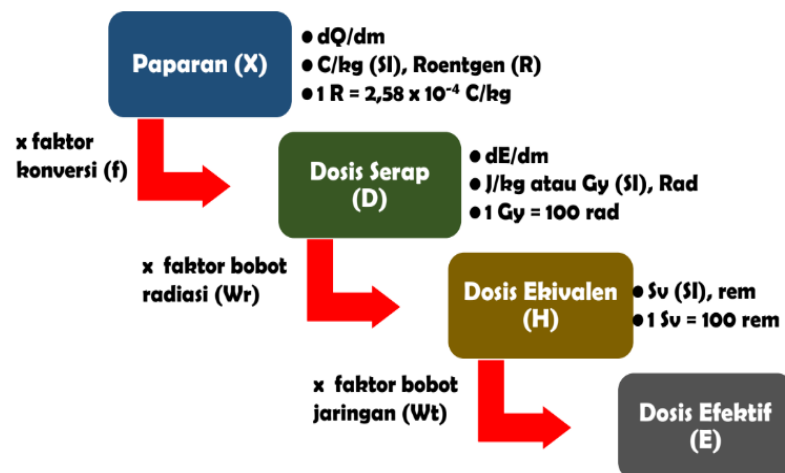
- Satuan baku kerma yaitu J/kg atau *Gray* (Gy).



Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, 1986

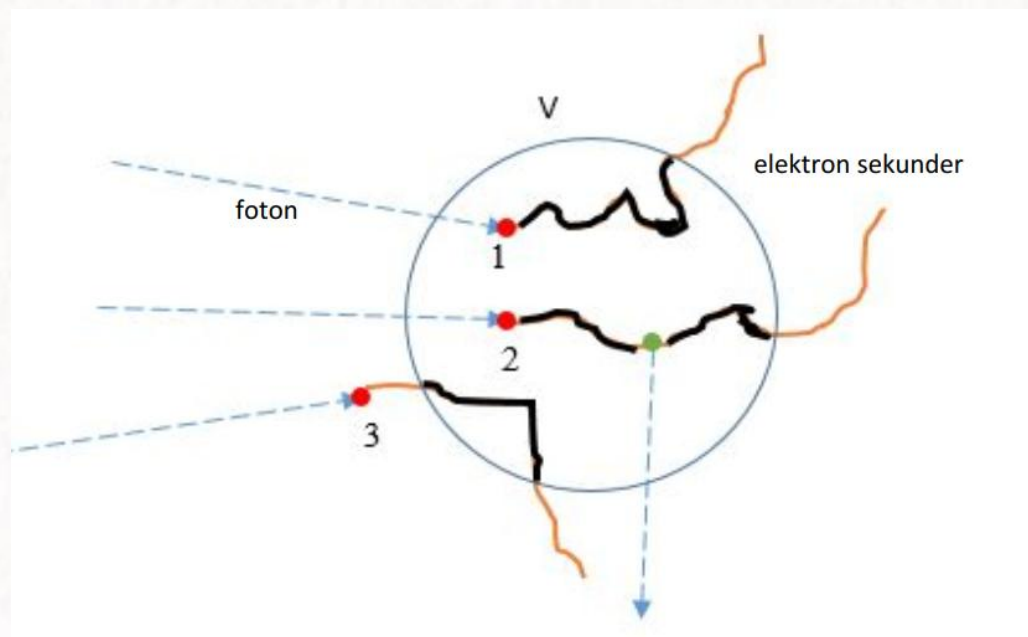
2

Besaran Proteksi Radiasi



Dosis Serap

Dosis serap adalah energi rata-rata yang diserap (dE) per satuan massa (dm) medium pada volume tertentu untuk proses **ionisasi dan eksitasi sepanjang lintasan elektron**.



Dosis serap terjadi pada Foton 1, 2 dan sebagian 3 (Garis hitam)

$$D = \frac{dE_{im}}{dm} \qquad \dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

Dimana:

- D = Dosis serap (Gy)
- dE_{im} = Energi yang diberikan (J)
- dm = Massa pada interaksi energi terjadi (kg)
- \dot{D} = Laju dosis serap (Gy/jam)

Satuan SI → J/kg atau Gray (Gy)

Satuan Non-SI → rad; 1 Gy = 100 rad

Tips

Konversi dari Paparan ke Dosis Serap di udara

1 Röntgen = 0.877 Rad

Dosis Ekuivalen

Dosis ekuivalen adalah **besaran turunan dosis serap** yang mempertimbangkan faktor bobot radiasi.

$$H = \sum (D \cdot w_R)$$

$$\dot{H} = H/t$$

Dimana:

H = Dosis Ekivalen (Sv)

D = Dosis Serap (Gy)

w_R = Faktor bobot radiasi/faktor kualitas

\dot{H} = Laju dosis ekivalen (Sv/jam)

Unit SI

Sv

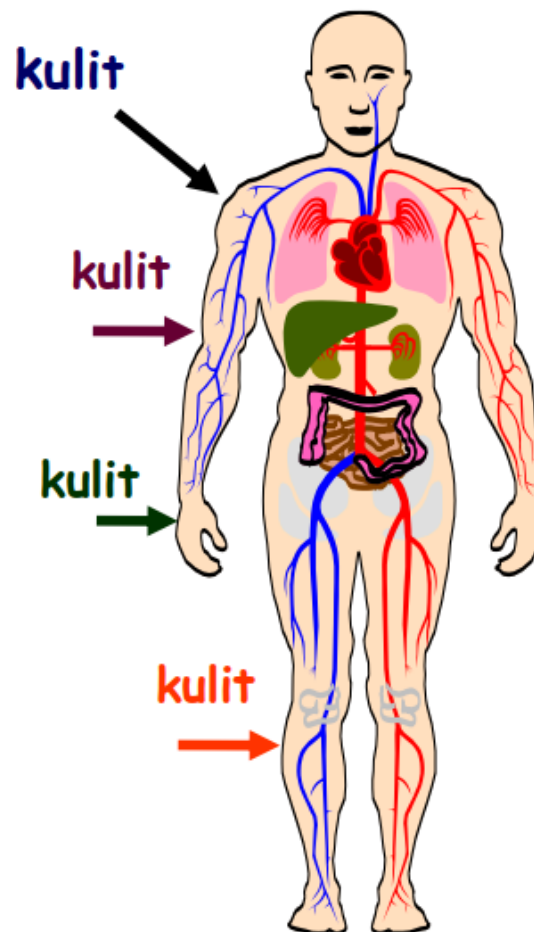
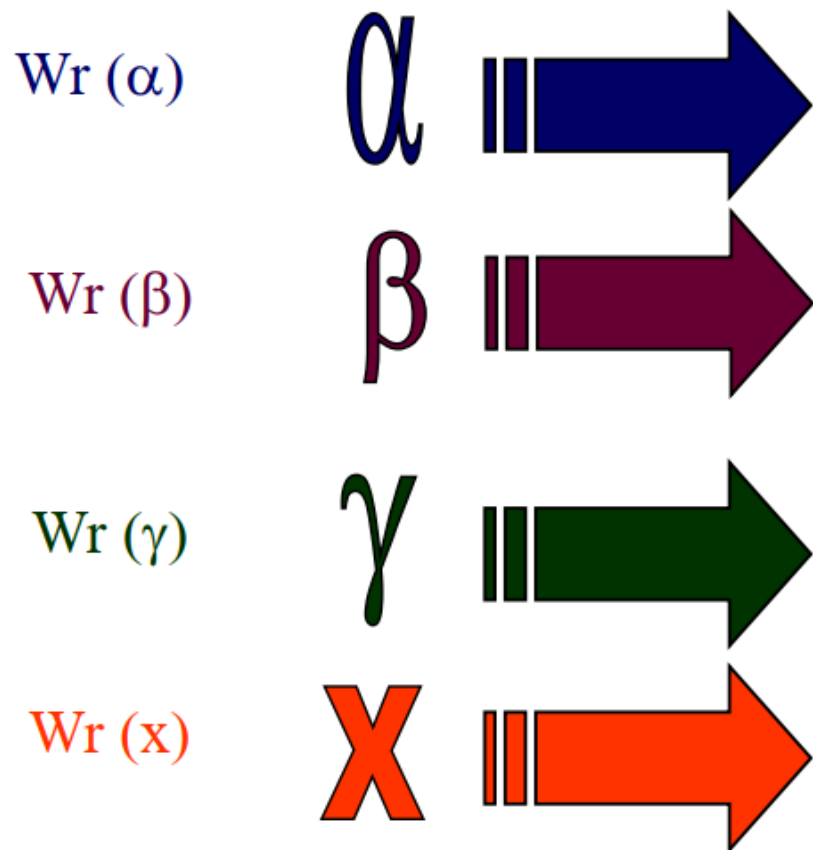
Unit Non-SI

Rem

Konversi

1 Sv = 100
Rem

Pertanyaan Dosis Ekuivalen



1

- Apakah efeknya akan sama terhadap kulit?

2

- Cara menghitung dosisnya

Faktor Bobot Radiasi (w_R)

Tabel nilai faktor bobot berbagai jenis radiasi (ICRP Pub. No. 103/2007)

Jenis Radiasi	w_R
1. Foton, untuk semua energi	1
2. Elektron dan muon, semua energi	1
3. Neutron dengan energi:	
a. $E \leq 10$ keV	5
b. 10 keV $< E \leq 100$ keV	10
c. 100 keV $< E \leq 2$ MeV	20
d. 2 MeV $< E \leq 20$ MeV	10
e. $E > 20$ MeV	5
4. Proton, selain proton rekoil, dengan energi > 2 MeV	2
5. Partikel alfa, hasil belah, inti berat	20

Perbedaan bobot menunjukkan daya rusak

Berkaitan dengan *Linear Energy Transfer* (LET)

Dosis Efektif

Dosis efektif adalah **besaran turunan dosis ekuivalen** yang mempertimbangkan **faktor bobot organ/jaringan** (w_T)

$$E = \sum (H \cdot w_T)$$

$$\dot{E} = E/t$$

Dimana:

E = Dosis efektif (Sv)

H = Dosis ekuivalen (Sv)

w_T = Faktor bobot organ/jaringan

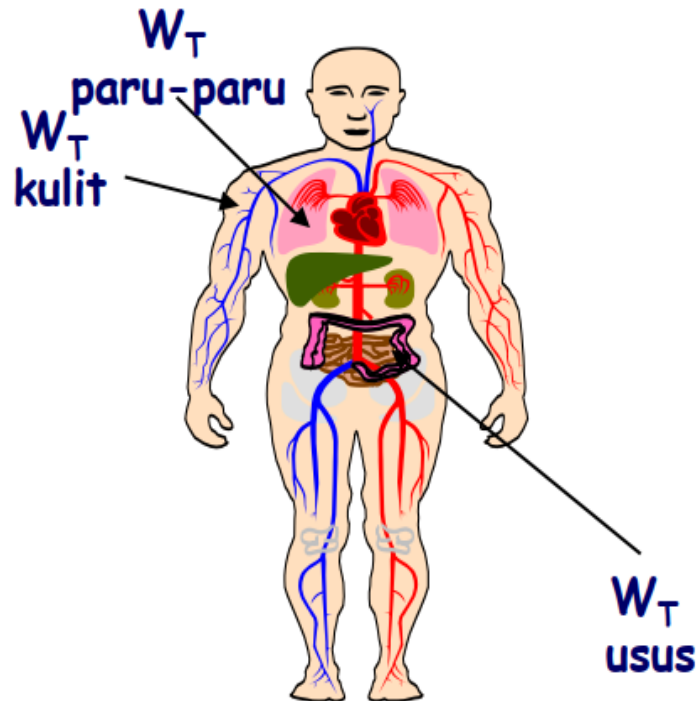
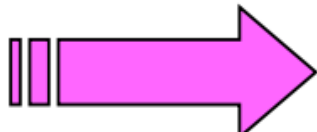
\dot{E} = Laju dosis efektif (Sv/jam)

Unit SI	Unit Non-SI
Sv	Rem

Konversi
1 Sv = 100 Rem

Pertanyaan Dosis Efektif

$W_r (\gamma)$



1

- Apakah setiap jaringan memiliki tingkat kerusakan yang sama? Jika jenis radiasinya sama.

2

- Cara menghitung dosisnya?

Faktor Bobot Jaringan

Tabel Nilai faktor bobot w_T berbagai jenis jaringan (ICRP Pub. No. 103/2007)

Jenis Organ	w_T	Σw_T
Sumsum tulang belakang, kolon, paru-paru, lambung, payudara	0.12	0.72
Kandung kemih, kerongkongan, hati, tiroid	0.04	0.16
Gonad	0.08	0.08
Permukaan tulang, otak, kelenjar ludah, kulit	0.01	0.04
	Total	1.00

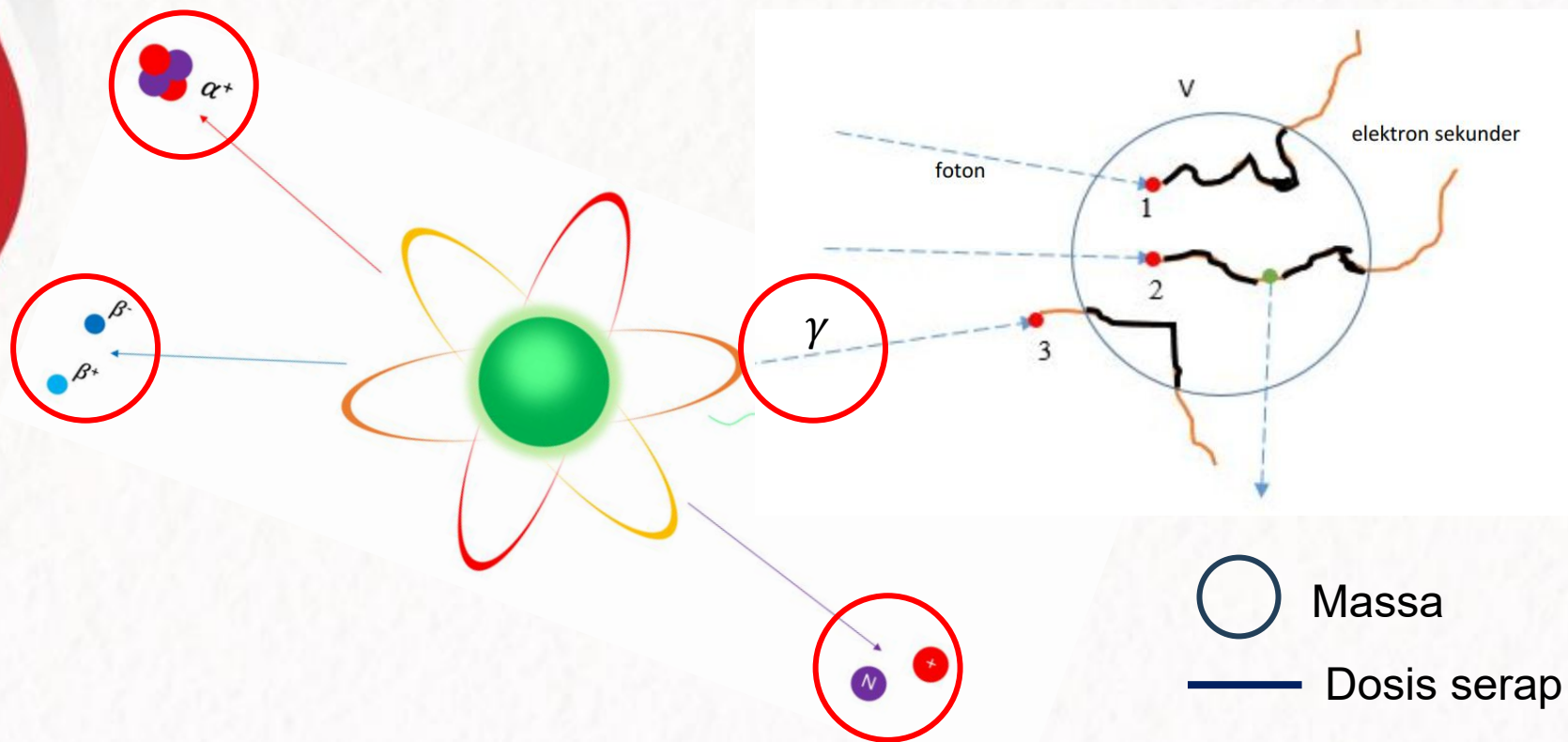


Lebih sensitif

Jaringan lainnya: Kelenjar adrenal, Daerah Ekstratoraks (ET), Kandung Empedu, Jantung, Ginjal, Kelenjar Getah Bening, Otot, Mukosa Mulut, Pankreas, Prostat, Usus Halus, Limpa, Timus, Rahim.

Faktor bobot jaringan mempertimbangkan sensitivitas berbagai jaringan terhadap radiasi

Perjalanan Radiasi → Dosis Serap



Ilustrasikan perjalanan radiasi menjadi dosis serap

Pertanyaan

Seorang pekerja radiasi menerima paparan radiasi dari dua jenis radiasi:

1. Radiasi beta, dosis serapnya sebesar 0.5 mGy
2. Radiasi gamma, dosis serapnya sebesar 0.8 mGy

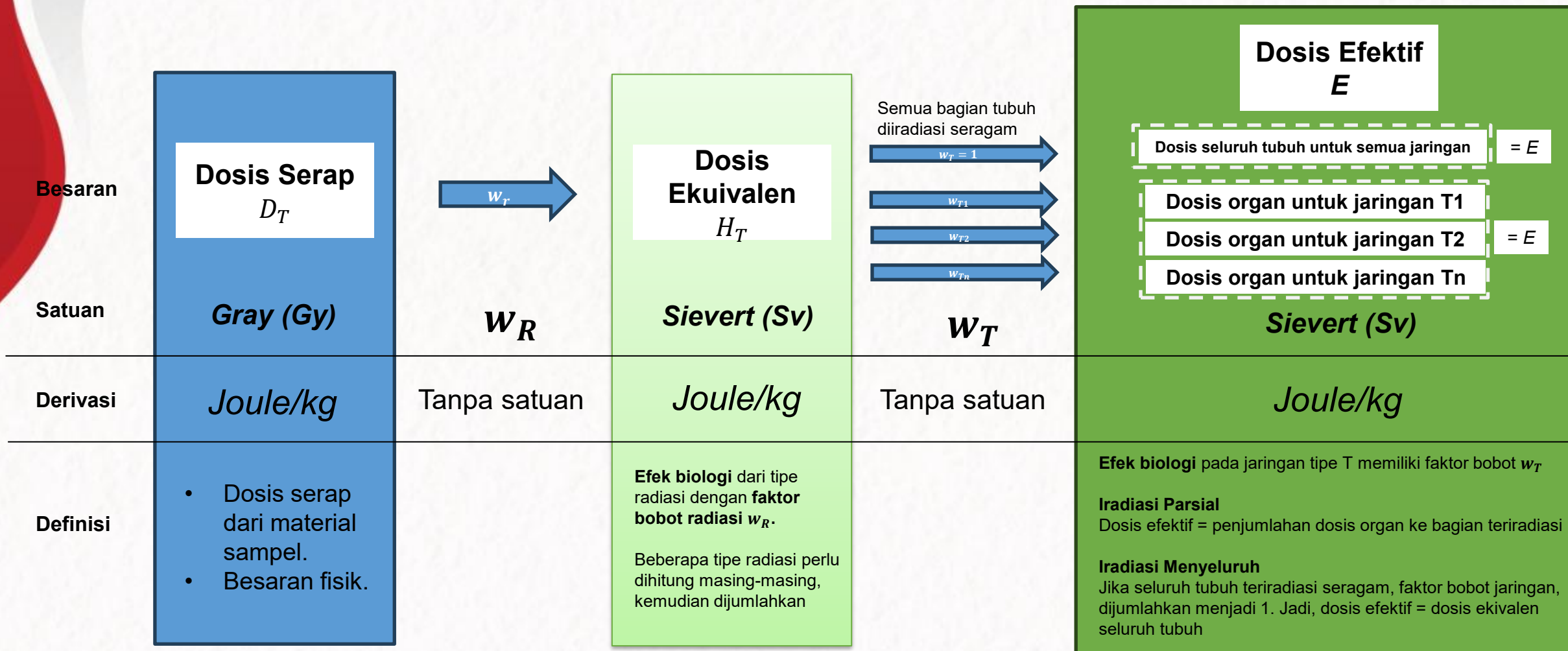
Faktor bobot radiasi beta adalah 1

Faktor bobot radiasi gamma adalah 1

Hitung **dosis ekuivalen** yang diterima oleh pekerja tersebut.

Jawaban

Hubungan antara Jenis Dosis (Proteksi) dalam Satuan SI



Dosis Kolektif

Dosis kolektif berhubungan dengan **jumlah orang** dalam populasi yang mungkin terkena **efek stokastik** (w_T)

$$N = f \cdot w_T \cdot S_E \dots \dots \dots (13)$$

Satuan
dalam
Sievert.orang

Dimana:

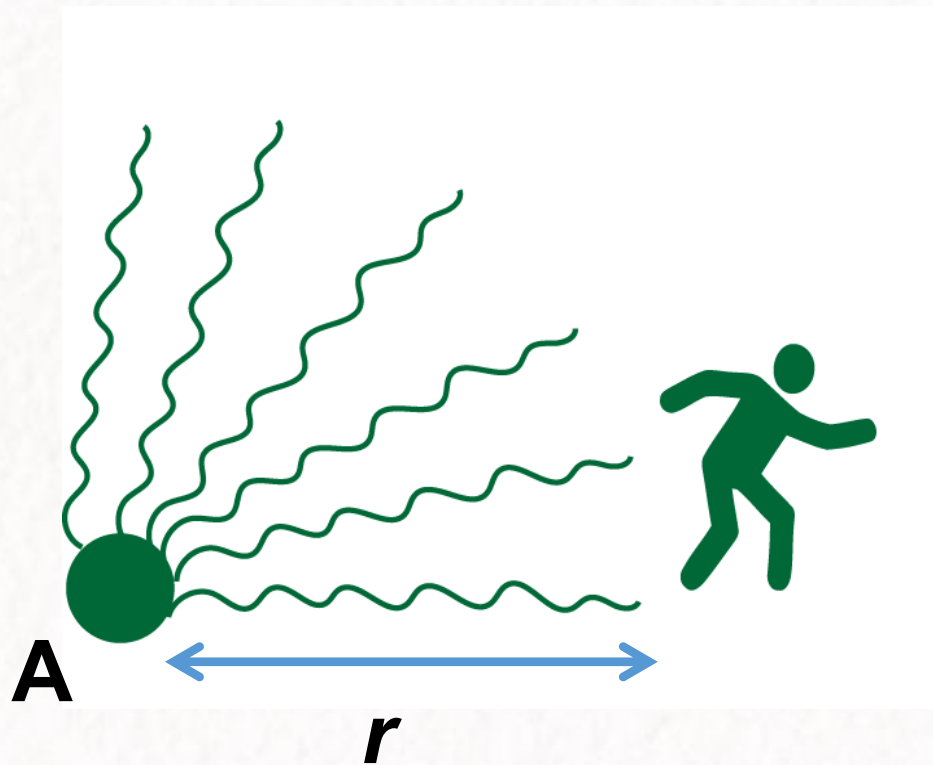
N = Jumlah orang yang mungkin terkena efek stokastik

f = faktor risiko

w_T = faktor bobot organ/jaringan

S_E = Dosis kolektif (Sv); dapat dinyatakan dalam dosis ekuivalen atau efektif

Estimasi Laju Dosis Radiasi Gamma



*Syarat:

- r harus 10x lebih besar dari dimensi sumber

Persamaan aproksimasi laju dosis:

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{r^2}$$

$$\dot{H} = h \frac{A}{r^2}$$

Dimana:

\dot{X} = Laju Paparan (R/jam)

\dot{H} = Laju dosis (mSv/jam)

Γ = Faktor gamma (R.m²/Ci.jam)

h = Konstanta laju dosis (mSv.m²/MBq.jam)

A = Aktivitas (MBq) atau (Ci)

r = Jarak antara orang dan sumber (m)

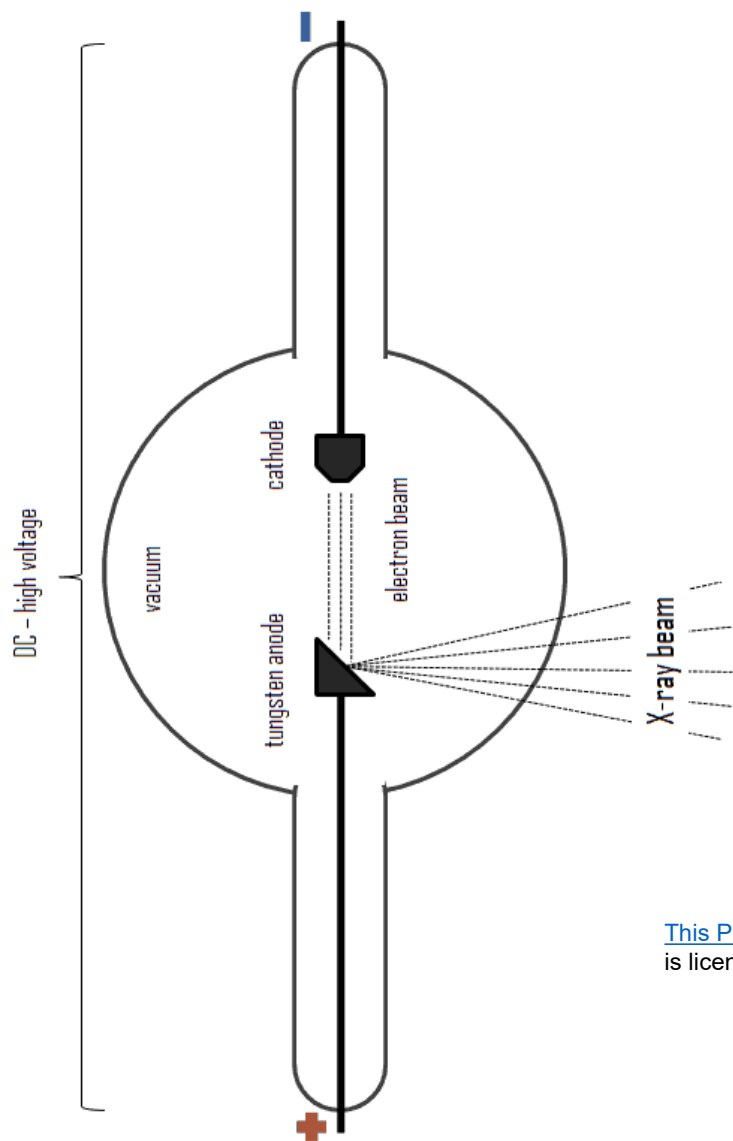
Faktor Gamma dan Konstanta Dosis

Tabel faktor gamma dan konstanta dosis

Radioisotop	Energi (MeV)	Γ (R.m²/Ci.jam)	h (mSv.m²/MBq.jam)
Na-22	1,275	1,19	0,327
Na-24	1,369 2,754	1,82	0,486
Co-60	1,173 1,333	1,30	0,347
I-131	0,364	0,22	0,0648
Cs-137	0,662	0,34	0,0910
Ir-192	0,317 0,468	0,48	0,138
Au-198	0,416	0,24	0,0683

Sumber: JRIA, ICRU 1985

Menghitung Laju Dosis Radiasi Sinar-X



[This Photo](#) by Unknown Author
 is licensed under [CC BY-NC](#)

$$D = Output \times mAs$$

$$\dot{D} = \frac{D}{t}$$

- D = Dosis serap
- \dot{D} = Laju dosis serap
- mAs = Milliampere-sekon (arus tabung x waktu paparan)
- t = Waktu paparan dalam detik
- Output = Keluaran sinar-X (mGy/mAs)

*Output biasanya ditemukan pada spesifikasi alat
 (pengukuran pada jarak 1 meter)

Menghitung Laju Dosis Radiasi Beta

- Rule of thumb, valid over a wide range of beta energies

$$\dot{D} = \left(27 \frac{\text{rad} * \text{m}^2}{\text{Ci} * \text{hr}} \right) \frac{A}{d^2}$$

Dose Rate (rad/hr)

Activity (Ci)

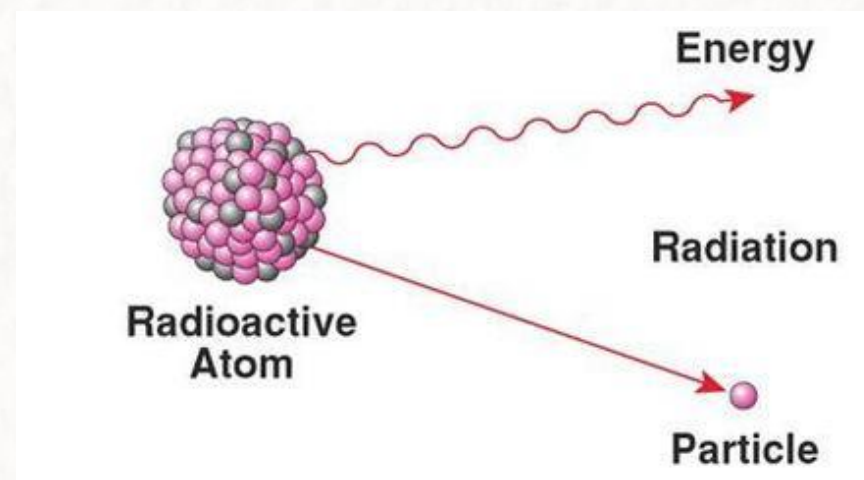
Distance from source (m)

Assumes point source and no attenuation to air or source material

https://www.ehs.colostate.edu/_PDF/Rad/Mod-5.pdf

3

Aktivitas Radiasi



Inti Zat Radioaktif



- Zat radioaktif memiliki **aktivitas radioaktif**.
- Merupakan jumlah **peluruhan** yang terjadi **dalam satu waktu (laju peluruhan)**.
- Satuan SI aktivitas radioaktif dalam **Becquerel (Bq)**.

Satuan Aktivitas

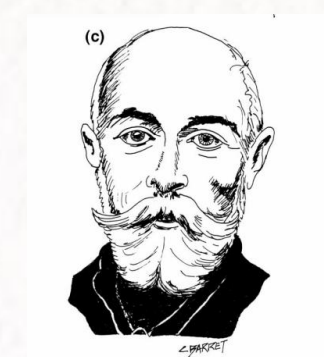


Ci

Satuan Lama

Marie Curie dan Pierre Curie (1903)
Penemu Radium dan Polonium.

Cocok untuk zat radioaktif dengan aktivitas tinggi.



Bq

Satuan Internasional (SI)

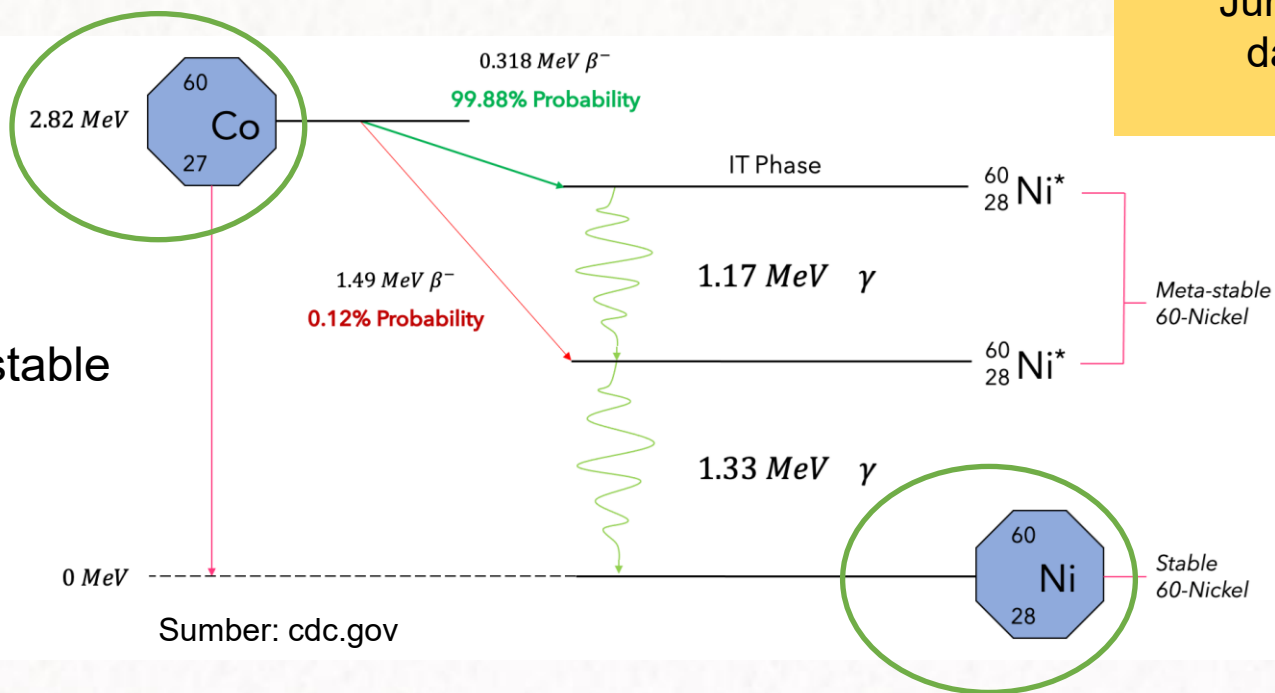
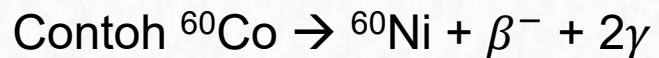
Henri Becquerel (1975)
Satuan Internasional dari aktivitas radiasi adalah Becquerel (Bq).

Cocok untuk zat radioaktif dengan aktivitas kecil.

Aktivitas Radiasi

Yang perlu diketahui terlebih dahulu:

Peluruhan



Jumlah peluruhan inti atom tidak stabil yang terjadi per satuan waktu

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \rightarrow A$$

Aktivitas merupakan laju peluruhan itu sendiri

Jumlah inti atom tidak stabil dan konstanta peluruhan

Aktivitas

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

Konstanta Peluruhan

Aktivitas awal

Waktu peluruhan

Stable

Hubungan Satuan Aktivitas

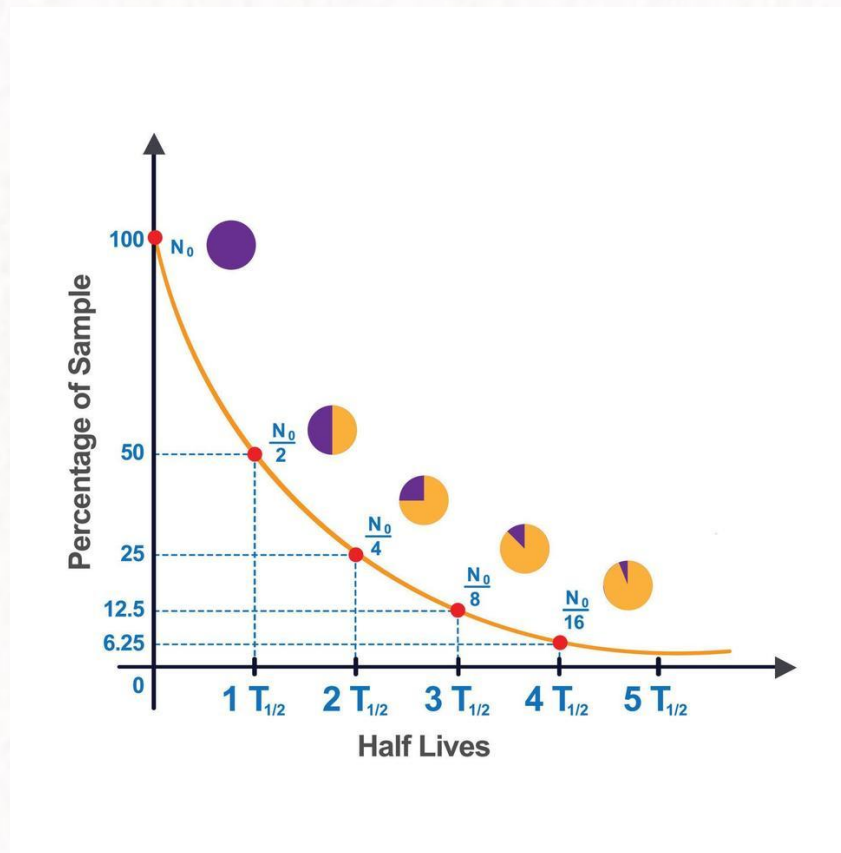
Konversi di antara Curie dan Becquerel

1 Bq (becquerel)	1 dps	2.7×10^{-11} Ci
1 kBq (kilobecquerel)	10^3 dps	2.7×10^{-6} Ci
1 MBq (megabecquerel)	10^6 dps	2.7×10^{-4} Ci
1 GBq (gigabecquerel)	10^9 dps	2.7×10^{-2} Ci
1 TBq (terabecquerel)	10^{12} dps	2.7 Ci

1 Ci	3.7×10^{10} Bq	37 GBq
1 mCi (milicurie)	3.7×10^7 Bq	37 MBq
1 μ Ci (microcurie)	3.7×10^4 Bq	37 kBq
1 nCi (nanocurie)	3.7×10 Bq	37 Bq

4

Waktu Paro



Waktu Paro

Waktu yang diperlukan agar **aktivitas** zat radioaktif **berkurang** menjadi **setengah** dari nilai awal.

Contoh waktu paro:

$^{60}\text{Co} \rightarrow t_{1/2} = 5.27$ tahun

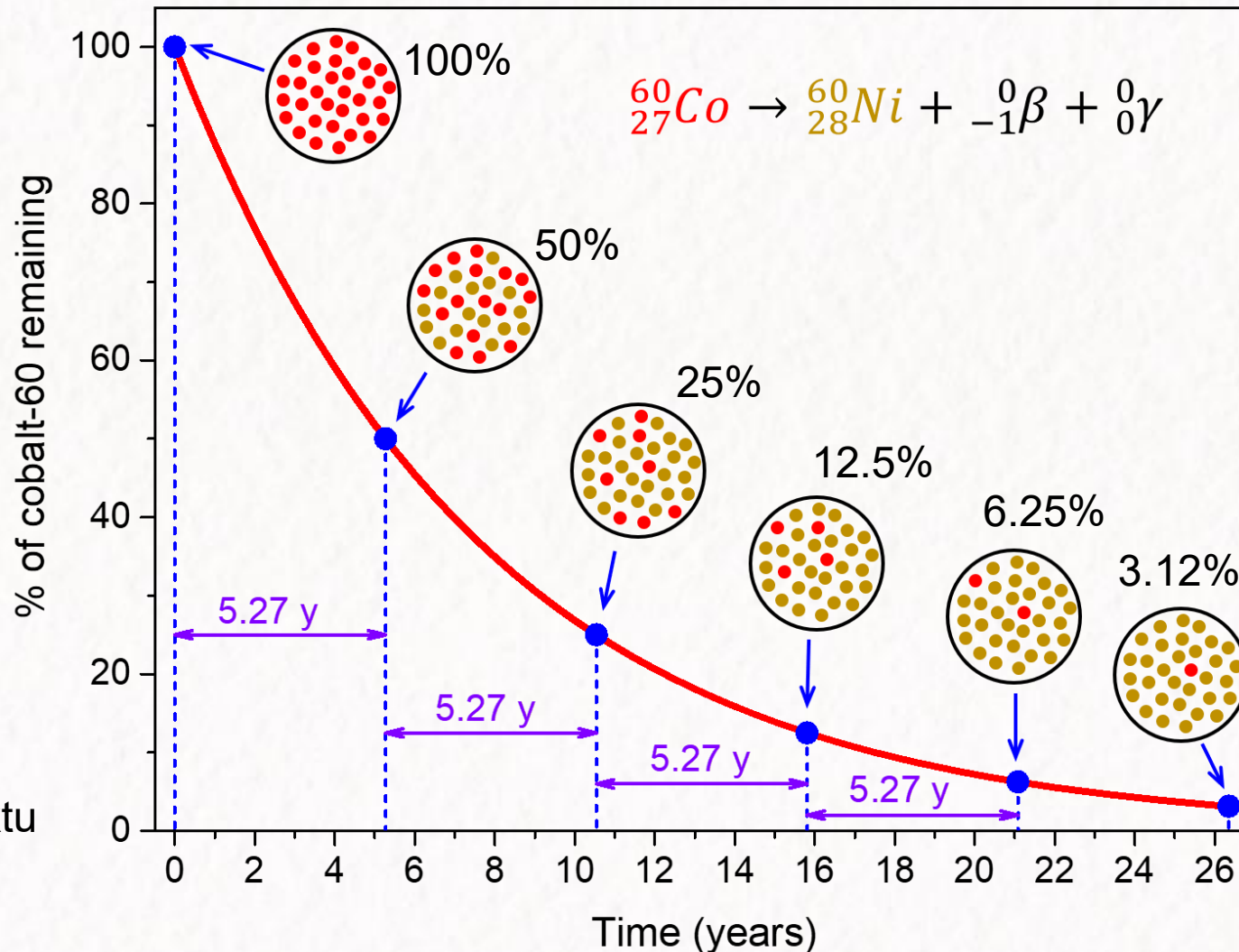
$^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30$ tahun

$^{192}\text{Ir} \rightarrow t_{1/2} = 74$ hari

$$A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Di mana $n = t/t_{1/2}$

A_t = Aktivitas akhir t = Selang waktu
 A_0 = Aktivitas awal $t_{1/2}$ = Waktu paro
 n = Rasio waktu dan waktu paro



Tips:

Hafalkan pangkat 2:

$$2^2 = 4; 2^3 = 8; 2^4 = 16; 2^5 = 32; 2^6 = 64$$

Hafalkan waktu paro radionuklida berikut:

$${}^{60}\text{Co} \rightarrow t_{1/2} = 5.27 \text{ tahun};$$

$${}^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30 \text{ tahun};$$

$${}^{192}\text{Ir} \rightarrow t_{1/2} = 74 \text{ hari}$$

Waktu Paro

Contoh:

Suatu iradiator Gamma Cell Co-60 memiliki aktivitas awal 480 Ci. Berapa aktivitas setelah 15.81 tahun pemakaian?

Waktu Paro

Contoh:

Suatu kamera gamma Ir-192 memiliki aktivitas 100 Ci pada tanggal 1 Januari 2000. Berapa aktivitas pada tanggal 28 Mei 2000?

Langkah Penyelesaian:

Cari nilai $t = t_{akhir} - t_{awal} \rightarrow t = 28 \text{ Mei } 2000 - 1 \text{ Januari } 2000$
 $t = 148 \text{ hari}$

Cari nilai $n = t/t_{1/2} \rightarrow n = 148/74 \rightarrow n = 2$

Gunakan persamaan $A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow A_t = 100 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow A_t = 25 \text{ Ci}$

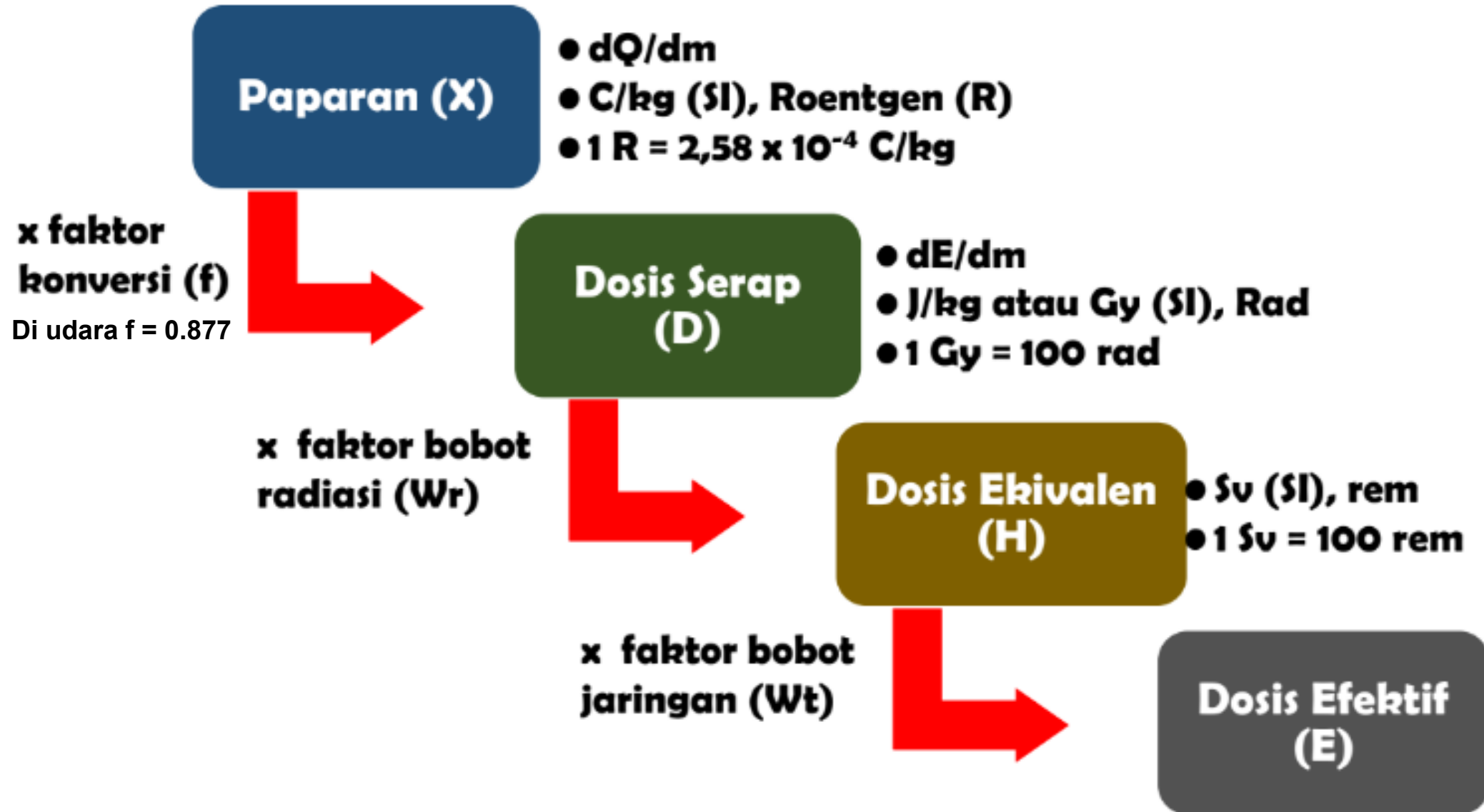
Pertanyaan

1. Sebuah sumber **Cs-137** memiliki aktivitas **100 Ci** setelah **60 tahun**. Berapakah aktivitas awalnya saat pertama kali diproduksi? ($T_{1/2}$ Cs-137 = 30 tahun)

2. Jika sebuah sumber **Cs-137** memiliki aktivitas awal **50 MBq**, berapa lama waktu yang dibutuhkan agar aktivitasnya berkurang menjadi **6.25 MBq**?

SUMMARY

Rangkuman



Rangkuman

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

Aktivitas

Konstanta Peluruhan

Aktivitas awal

Waktu peluruhan

$$\text{Atau } A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

Waktu Paro

Waktu yang diperlukan agar aktivitas zat radioaktif berkurang menjadi setengah dari nilai awal.

Contoh waktu paro:

$^{60}\text{Co} \rightarrow t_{1/2} = 5.27$ tahun

$^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30$ tahun

$^{192}\text{Ir} \rightarrow t_{1/2} = 74$ hari

Soal-soal

1. Apa satuan SI untuk dosis ekuivalen?

- A. Gray (Gy)
- B. Sievert (Sv)
- C. Becquerel (Bq)
- D. Curie (Ci)

2. Faktor bobot radiasi (w_r) untuk partikel beta adalah...

- A. 1
- B. 5
- C. 10
- D. 20

3. Jika seorang pekerja menerima dosis serap 2 mGy dari radiasi gamma, berapa dosis ekuivalennya?

(Diketahui faktor bobot radiasi gamma = 1)

- A. 1 mSv
- B. 2 mSv
- C. 5 mSv
- D. 10 mSv

Soal-soal

4. Jika sebuah sumber Cs-137 memancarkan radiasi beta dan gamma, bagaimana cara menghitung dosis ekuivalen total?

- A. Menjumlahkan dosis serap kedua radiasi tanpa faktor bobot radiasi
- B. Mengalikan dosis serap dengan faktor bobot radiasi dan menjumlahkan hasilnya
- C. Menggunakan faktor bobot jaringan dalam perhitungan
- D. Mengonversi ke dosis efektif terlebih dahulu

5. Apa hubungan antara dosis serap (D) dan dosis ekuivalen (H)?

- A. Dosis ekuivalen adalah dosis serap dikalikan faktor bobot jaringan
- B. Dosis ekuivalen adalah dosis serap dikalikan faktor bobot radiasi
- C. Dosis serap selalu lebih besar dari dosis ekuivalen
- D. Dosis ekuivalen dihitung tanpa mempertimbangkan jenis radiasi

6. Jika seorang pekerja terkena radiasi neutron dengan energi 2 MeV, berapa faktor bobot radiasinya (w_r)?

- A. 1
- B. 5
- C. 10
- D. 20

Soal-soal

7. Besaran fisika radiasi yang menyatakan banyaknya energi kinetik yang ditransfer ke partikel bermuatan disebut...

- A. Dosis serap
- B. Dosis ekuivalen
- C. Kerma
- D. Aktivitas radiasi

8. Sebuah sumber radiasi memiliki aktivitas 100 MBq. Jika faktor gamma untuk radionuklida tersebut adalah $0.091 \text{ mSv}\cdot\text{m}^2/\text{MBq}\cdot\text{jam}$, berapa laju dosis pada jarak 2 meter?

- A. 1.14 mSv/jam
- B. 2.28 mSv/jam
- C. 4.56 mSv/jam
- D. 9.12 mSv/jam

Soal-soal

8. Satuan "Röntgen" adalah satuan untuk besaran paparan yang berlaku untuk penyinaran radiasi ...

- A. Alfa
- B. Beta
- C. Gamma dan sinar-X
- D. Semua jenis radiasi pengion

9. Faktor kualitas radiasi dipengaruhi oleh ...

- A. Aktivitas sumber radiasi
- B. Jenis dan energi radiasi
- C. Densitas bahan
- D. Dosis radiasi

Soal-soal

10. Besaran yang menyatakan energi rata-rata radiasi yang diserap persatuan massa bahan memiliki satuan ...

- A. C/kg
- B. Gray
- C. Rem
- D. Sievert

11. Jika diketahui nilai paparan radiasi di udara, maka untuk menghitung dosis efektif yang diterima oleh pekerja radiasi maka diperlukan informasi mengenai hal di bawah ini, KECUALI ...

- A. Faktor bobot organ/jaringan
- B. Faktor konversi
- C. Faktor kualitas radiasi
- D. Umur paro biologi

Soal-soal

12. Pengertian faktor bobot jaringan pada dasarnya merupakan ...

- A. Bilangan yang menunjukkan perbandingan kerapatan ionisasi dari berbagai jenis radiasi
- B. Bilangan yang menunjukkan perbandingan antara dosis ekuivalen dengan dosis serap
- C. Bilangan yang menunjukkan perbandingan risiko efek stokastik dari suatu jaringan tubuh terhadap risiko efek stokastik pada seluruh tubuh
- D. Bilangan yang menunjukkan perbandingan antara laju penyinaran di udara dan dalam jaringan tubuh

Soal-soal

13. Sumber radiasi Cs-137 dengan aktivitas 90 mCi digunakan dalam industri. Berapa laju paparan pada jarak 10 meter dari sumber tersebut jika diketahui faktor gamma untuk Cs-13 adalah $0.3 \text{ R}\cdot\text{m}^2/\text{Ci}\cdot\text{jam}$

- A. 0.27 mR/jam
- B. 0.27 R/jam
- C. 27 mR/jam
- D. 270 R/jam

Soal-soal

14. Suatu pesawat sinar-X dioperasikan pada tegangan 60 kV dengan kuat arus 20 mA menghasilkan laju dosis sebesar 1 mSv/jam. Jika kuat arus dinaikkan menjadi 40 mA dan kV tetap, maka laju dosis ekuivalen pada jarak yang sama menjadi ...

- A. 0.25 mSv/jam
- B. 0.5 mSv/jam
- C. 2 mSv/jam
- D. 4 mSv/jam

Soal-soal

15. Seorang pekerja radiasi melakukan pekerjaan didaerah radiasi gamma dengan laju dosis yang berbeda-beda yaitu

- **1.5 jam didaerah dengan laju dosis 0.080 mGy/jam**
- **30 menit didaerah dengan laju dosis 0.600 mGy/jam**
- **45 menit didaerah dengan laju dosis 4.000 mGy/jam**

Dengan demikian maka dosis radiasi yang diterimanya selama melakukan pekerjaan tadi adalah:

- A. 3.42 mSv
- B. 4.225 mSv
- C. 4.375 mSv
- D. 5.375 mSv

Terima Kasih



B.J. Habibie Building
Jl. M.H. Thamrin 8, Jakarta 10340, Indonesia



www.brin.go.id



Brin Indonesia



@brin_indonesia



@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin