

# Besaran Radiasi dan Besaran Proteksi Radiasi

Bisma Barron Patrianesha, M.Si.

Pelatihan Petugas Iradiator

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2025

# Biodata

S2 Fisika Medis  
Univ. Indonesia



**Pengembang Teknologi  
Nuklir – Ahli Muda**

**Bisma Barron Patrianesha**  
[bism001@brin.go.id](mailto:bism001@brin.go.id)

PPR Medik Tk.1  
(2015-sekarang)

PPR Instalasi Nuklir  
(2012-sekarang)



## Publikasi (Dosimetri)

- *Uncertainty Analysis of Time-Integrated Activity Coefficient in Single-Time-Point Dosimetry Using Bayesian Fitting Method*, NMMI – Q3 (2024)
- *The accuracy of kidney's TIA calculated for three time points biokinetic data of [<sup>177</sup>Lu]Lu-Dotatate using mono-exponential function*, JSTNI – Sinta2 (2024)
- *Single-time-point dosimetry using model selection and the Bayesian fitting method: A proof of concept*, *Physica Medica* Q1 (2025)
- *Few-time-points time-integrated activity coefficients calculation using non-linear mixed-effects modeling: Proof of concept for [<sup>111</sup>In] In-DOTA-TATE in kidneys*, *Physica Medica* Q1 (2025)

Bisma Barron P.

Scan QR dengan  
gadget Anda

Ayo interaktif!

<https://www.mentimeter.com/app/presentation/alpggo1nwjmmnkq6c1q1qyhngqnj4dtg/edit?source=share-invite-modal>



# 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

*“Pengetahuan radiasi yang dimaksud pada materi ini adalah mengenai besaran yang digunakan secara umum di proteksi radiasi.”*

## Outline

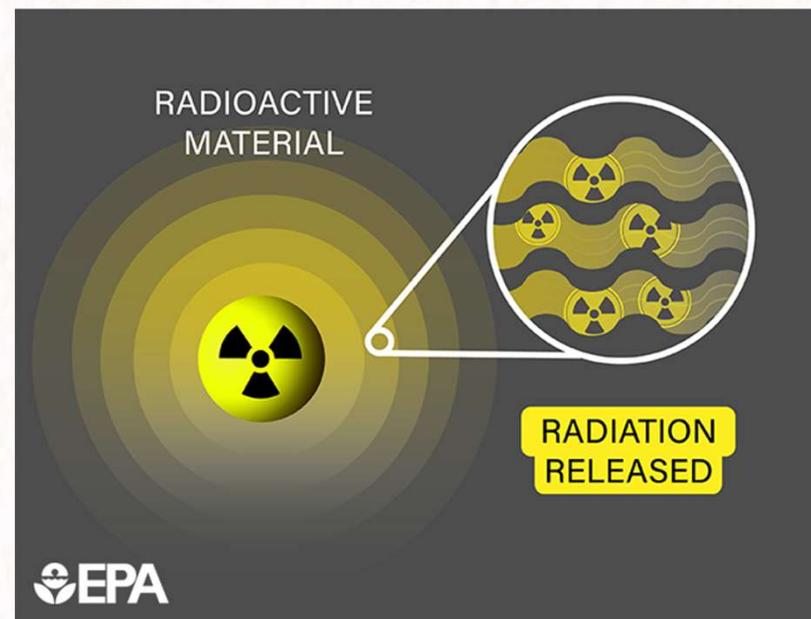
- Aktivitas Radiasi
- Satuan Aktivitas
- Waktu Paro
- Besaran Fisik
- Besaran Proteksi

## Pertanyaan pendahuluan

- Bahaya apa yang mungkin akan timbul dari AEET?
- Jenis radiasi apa yang diakselerasikan oleh AEET?
- Interaksi radiasi apa yang mungkin timbul dari emisi elektron yang terpancar dari AEET? Sebutkan!
- Apakah ada interaksi radiasi sekunder?

# 1

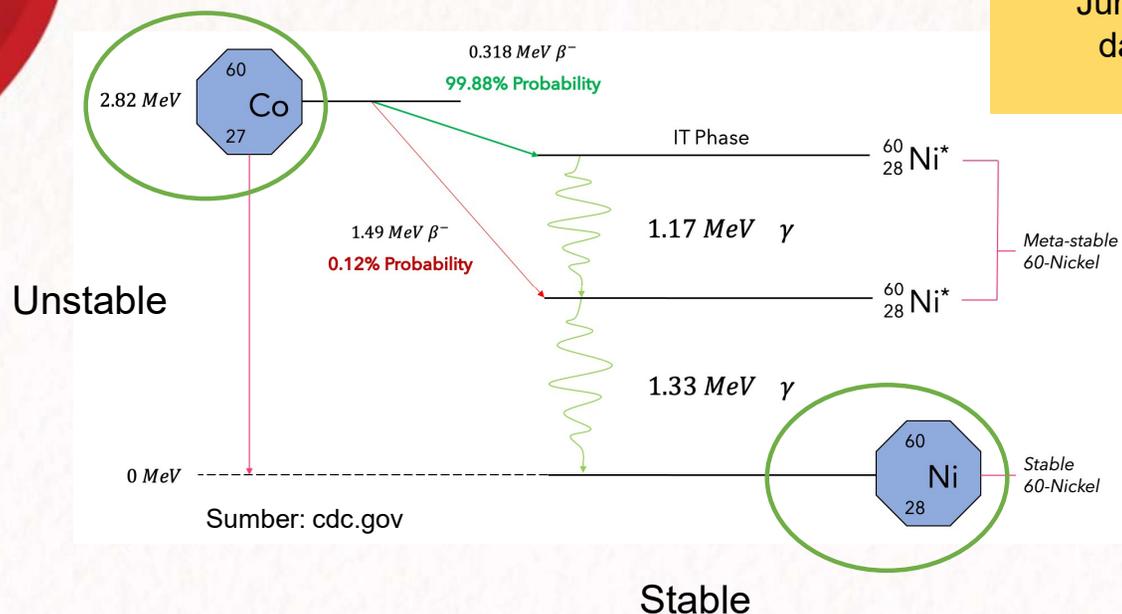
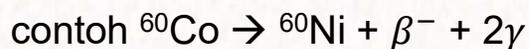
## Aktivitas Radiasi



# 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

Konstanta Peluruhan

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

Aktivitas awal

Waktu peluruhan

## 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

## Hubungan Satuan Aktivitas

Konversi diantara Curie dan Becquerel

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

1 Ci	$3.7 \times 10^{10}$ Bq	37 GBq
1 mCi (millicurie)	$3.7 \times 10^7$ Bq	37 MBq
1 $\mu$ Ci (microcurie)	$3.7 \times 10^4$ Bq	37 kBq
1 nCi (nanocurie)	$3.7 \times 10$ Bq	37 Bq

## Pertanyaan

- a. 1 Ci berapa GBq?
- b. 10 Ci berapa GBq?
- c. 7.4 GBq berapa Ci?

## Jawaban

- a.  $1 \text{ Ci} \times 37 \text{ GBq/Ci} = 37 \text{ GBq}$
- b.  $10 \text{ Ci} \times 37 \text{ GBq/Ci} = 370 \text{ GBq}$
- c.  $7.4 \text{ GBq} \div 37 \text{ GBq/Ci} = 0.2 \text{ Ci}$

# 3

## Waktu Paro

## Waktu Paro

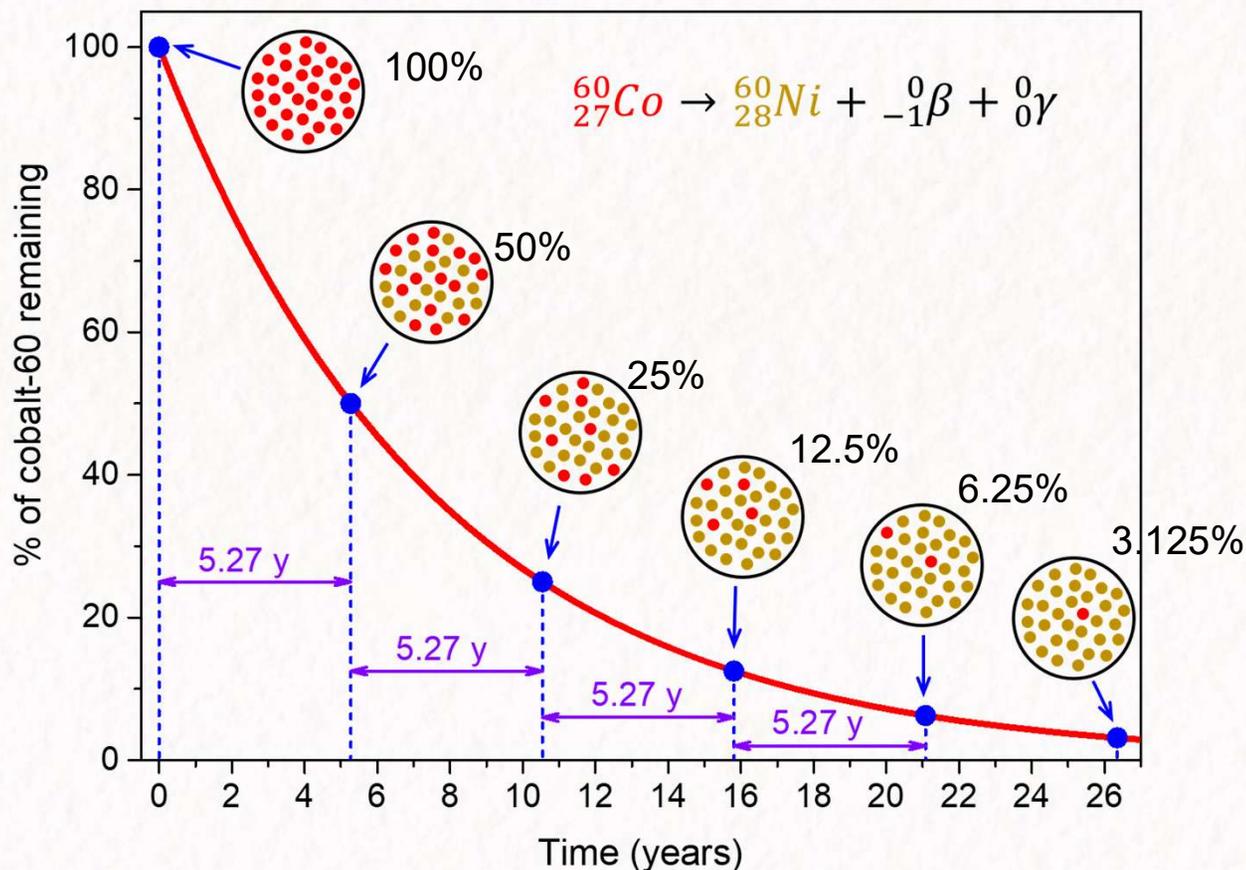
Waktu yang diperlukan agar aktivitas zat radioaktif **berkurang** menjadi **setengah** dari nilai awal.

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

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

Dimana  $n = t/t_{1/2}$

$A_t$  = Aktivitas akhir |  $t$  = selang waktu  
 $A_0$  = Aktivitas awal |  $t_{1/2}$  = waktu paro  
 $n$  = rasio waktu dan waktu paro



Tips:

Hafalkan pangkat 2  $\rightarrow 2^2 = 4$ ;  $2^3 = 8$ ;  
 $2^4 = 16$ ;  $2^5 = 32$ ;  $2^6 = 64$

Hafalkan  $^{60}\text{Co} \rightarrow t_{1/2} = 5.27$  tahun;  
 $^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30$  tahun;  $^{192}\text{Ir} \rightarrow t_{1/2}$   
 $= 74$  hari

## Waktu Paro

Contoh:

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

Langkah Penyelesaian:

1. Cari nilai  $n = t/t_{1/2} \rightarrow n = 15.81/5.27 \rightarrow n = 3$

2. Gunakan persamaan  $A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow A_t = 480 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \rightarrow A_t = 60 \text{ Ci}$

## Waktu Paro

Contoh 2:

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

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)

Cari nilai  $n = t/t_{1/2} \rightarrow n = 60/30 \rightarrow n = 2$

Hitung  $A_0$ :  $A_t = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow 100 = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2 \rightarrow A_0 = 400$  Ci

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

Rasio aktivitas:  $\frac{A_t}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{6.25}{50} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^n \rightarrow \left(\frac{1}{2}\right)^3 = \left(\frac{1}{2}\right)^n$

Jadi  $n = 3$

# Scan QR dengan gadget Anda

## Ayo interaktif!

<https://www.mentimeter.com/app/presentation/alpggo1nwjmmnkq6c1q1qyhngqj4dtg/edit?source=share-invite-modal>

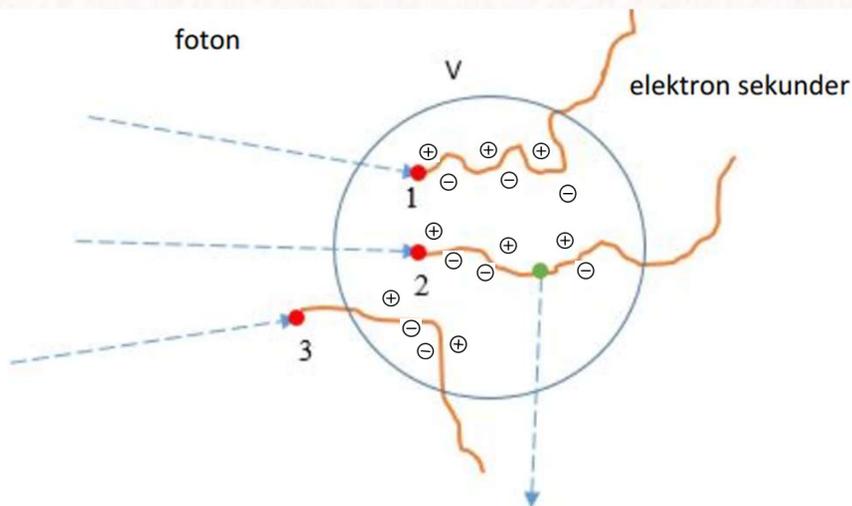


# 4

## Besaran Fisik

## Paparan

**Paparan** adalah **pasangan ion yang terbentuk per massa udara** akibat interaksi foton: *Compton scattering, photoelectric effect and pair production*. Elektron berenergi yang terbentuk akan mengionisasi atau mengeksitasi suatu medium (udara).



Gambar 4. Ilustrasi radiasi yang mengionisasi udara pada massa tertentu.

$$X = \frac{dQ}{dm} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

X = Paparan (R)

dQ = muatan yang terbentuk (C)

dm = massa pada interaksi energi terjadi (Kg)

Satuan SI dalam C/kg

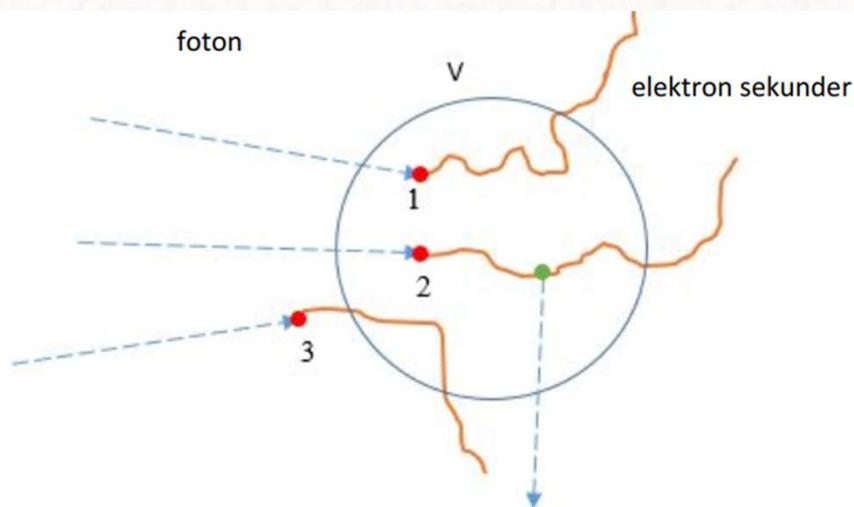
Satuan Non-SI dalam R

Energi yang dibutuhkan untuk membentuk 1 pasang ion = 33.97 J/C  
 1 R = 2.58 x 10<sup>-4</sup> C/Kg

Sumber: Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry,<sup>19</sup>1986

# Kerma

**Kerma (*Kinetic Energy Released per unit MA*ss)** adalah suatu kuantitas radiasi yang menyatakan **banyaknya energi kinetik yang ditransfer** ke partikel bermuatan **di suatu volume**. Satuan SI-nya adalah J/Kg atau Gy



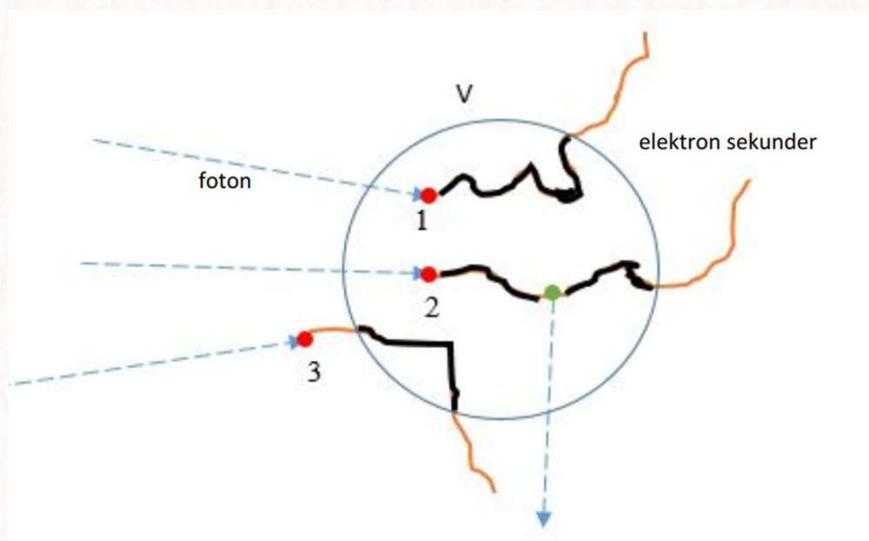
$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:  
 K = Kerma (J/Kg)  
 $dE_{tr}$  = energi yang ditransfer (J)  
 $dm$  = massa pada interaksi energi terjadi (Kg)

Gambar 2. Ilustrasi Kerma terjadi pada Foton 1 dan 2

## Dosis Serap

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



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

$$D = \frac{dE_{im}}{dm} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

D = Dosis serap (Gy)

$dE_{im}$  = energi yang diberikan (J)

$dm$  = massa pada interaksi energi terjadi (Kg)

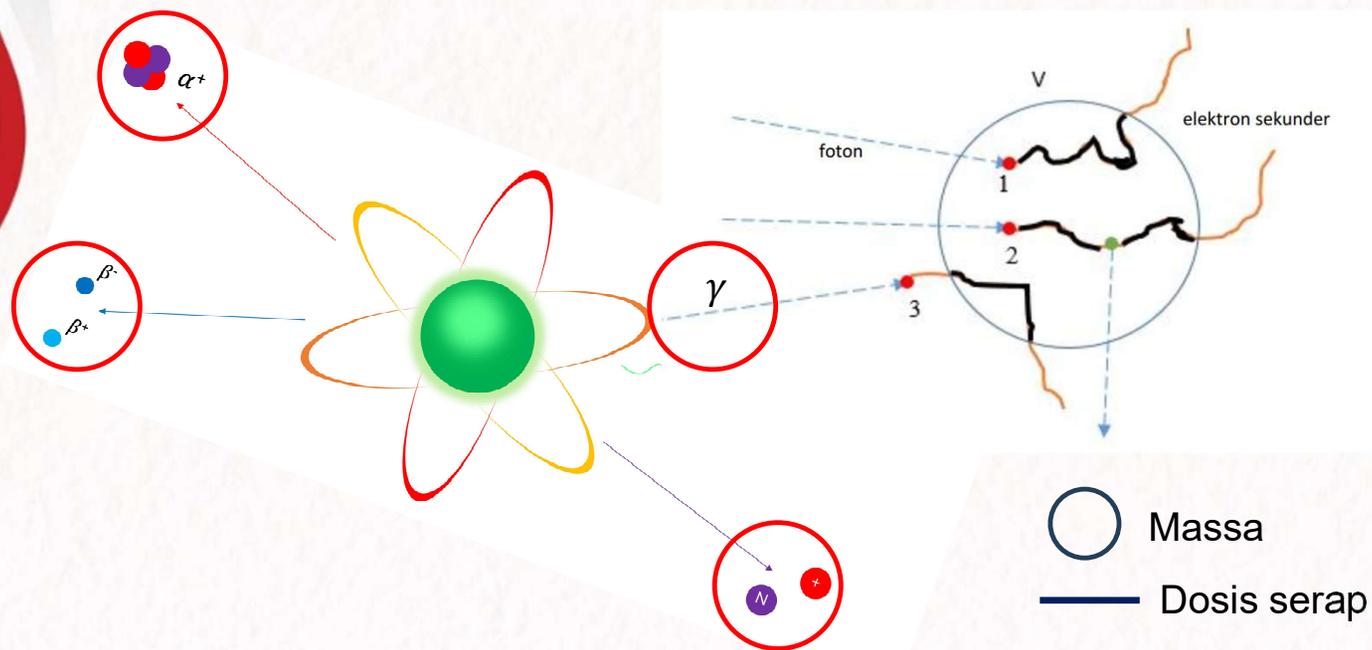
Satuan SI dalam J/kg atau Gray (Gy)

Satuan Non-SI 1 Gy = 100 rad

**Tips** Konversi dari Paparan ke Dosis Serap  
 1 Rontgen = 0.877 Rad

Sumber: Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry,<sup>21</sup>1986

# Perjalanan radiasi → dosis



Narasikan!!



Gambar 1. Ilustrasi perjalanan dosis menjadi dosis serap

# 5

## Besaran Proteksi Radiasi

# Dosis ekivalen

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

$$H = \sum(D \cdot w_R) \dots \dots \dots (10)$$

$$\dot{H} = H/t \dots \dots \dots (11)$$

Dimana:

H = Dosis Ekivalen (Sv)

D = Dosis Serap (Gy)

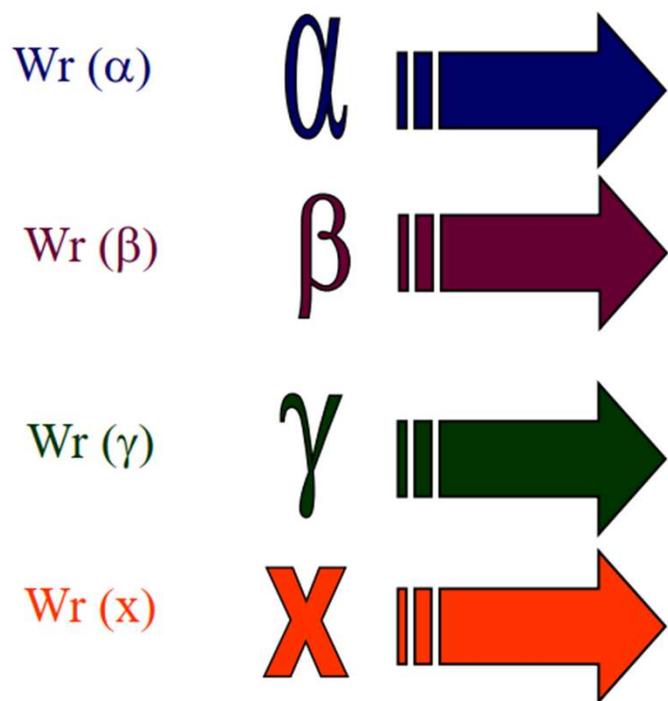
$w_R$  = faktor bobot radiasi/faktor kualitas

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

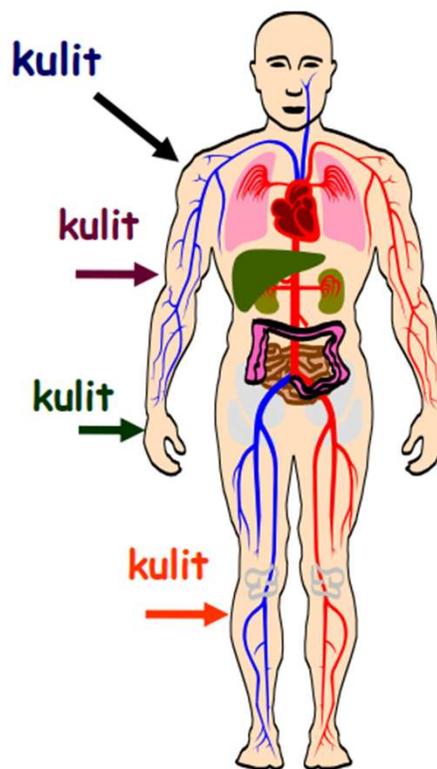
Unit SI	Unit Non-SI
Sv	Rem

Konversi
1 Sv = 100 Rem

# Pertanyaan (1) Dosis ekuivalen



Semua jenis radiasi



Satu jenis organ/jaringan



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	$w_R$ (tanpa satuan)
1. Foton, untuk semua energi	1
2. Elektron dan muon, semua energi	1
3. Neutron dengan energi:	
a. $E \leq 10$ keV	5
b. $10 \text{ keV} < E \leq 100$ keV	10
c. $100 \text{ keV} < E \leq 2$ MeV	20
d. $2 \text{ MeV} < E \leq 20$ MeV	10
e. $E > 20$ MeV	5
4. Proton, selain proton recoil, dengan energi $> 2$ MeV	2
5. Partikel alfa, hasil belah, inti berat	20

Perbedaan nilai menunjukkan daya rusak

Terkait dengan *Linear Energy Transfer* (LET)

# Dosis Efektif

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

$$E = \sum(H \cdot w_T) \dots \dots \dots (12)$$

Dimana:

E = Dosis Efektif (Sv)

H = Dosis Ekivalen (Gy)

$w_T$  = faktor bobot organ/jaringan

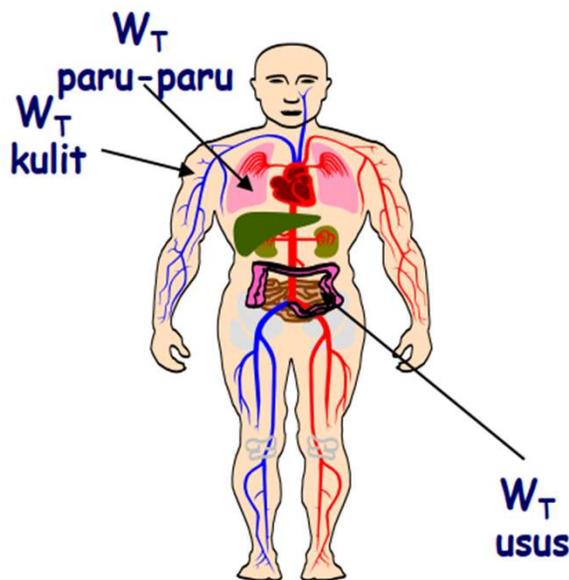
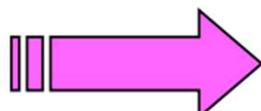
$\dot{E}$  = laju dosis efektif (Sv/jam)

Unit SI	Unit Non-SI
Sv	Rem

Konversi
1 Sv = 100 Rem

# Pertanyaan (2) Dosis efektif

$W_r (\gamma)$



Satu jenis radiasi

Banyak jenis organ/jaringan



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	$w_T$	$\Sigma w_T$
Sumsum tulang belakang, kolon, paru-paru, lambung, Payudara, Jaringan lainnya	0.12	0.72
Gonad	0.08	0.08
Kandung kemih, kerongkongan, hati, tiroid	0.04	0.16
Permukaan tulang, otak, kelenjar ludah, kulit	0.01	0.04
	<b>Total</b>	<b>1.00</b>

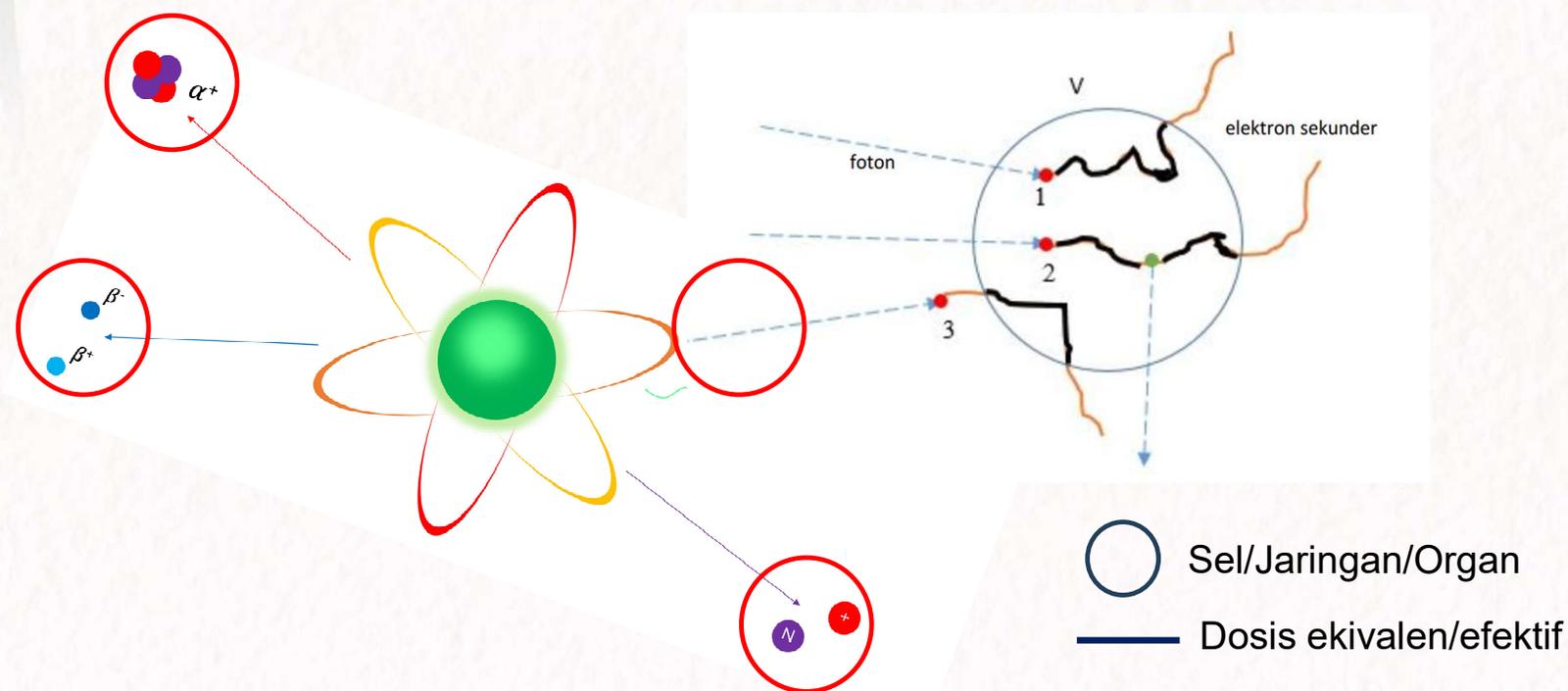


Lebih sensitif

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 efektif



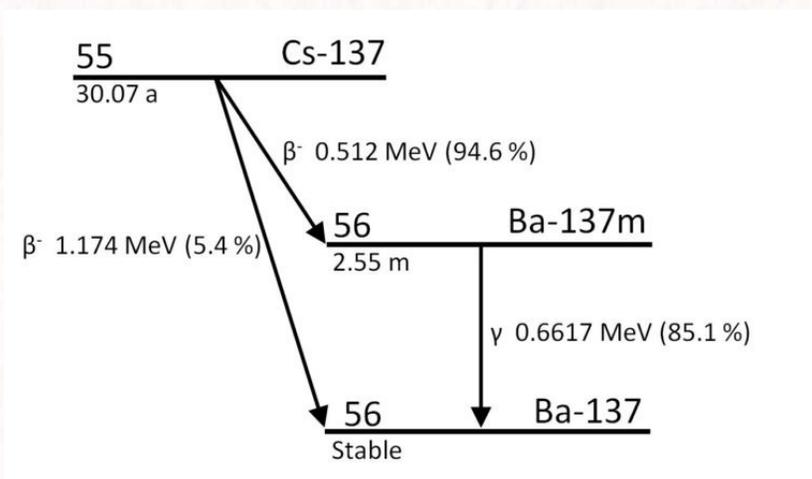
Narasikan!!



Gambar 2. Ilustrasi perjalanan dosis menjadi dosis efektif

# Pertanyaan

Terdapat 2 Jenis radiasi pada Cs-137 yaitu beta dan gamma.



1. Jabarkan variabel apa yang harus ada agar dapat menghitung **dosis ekuivalen!**

2. Variabel apa yang perlu ditambahkan untuk menghitung **dosis efektif!**

## 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.

Jawab

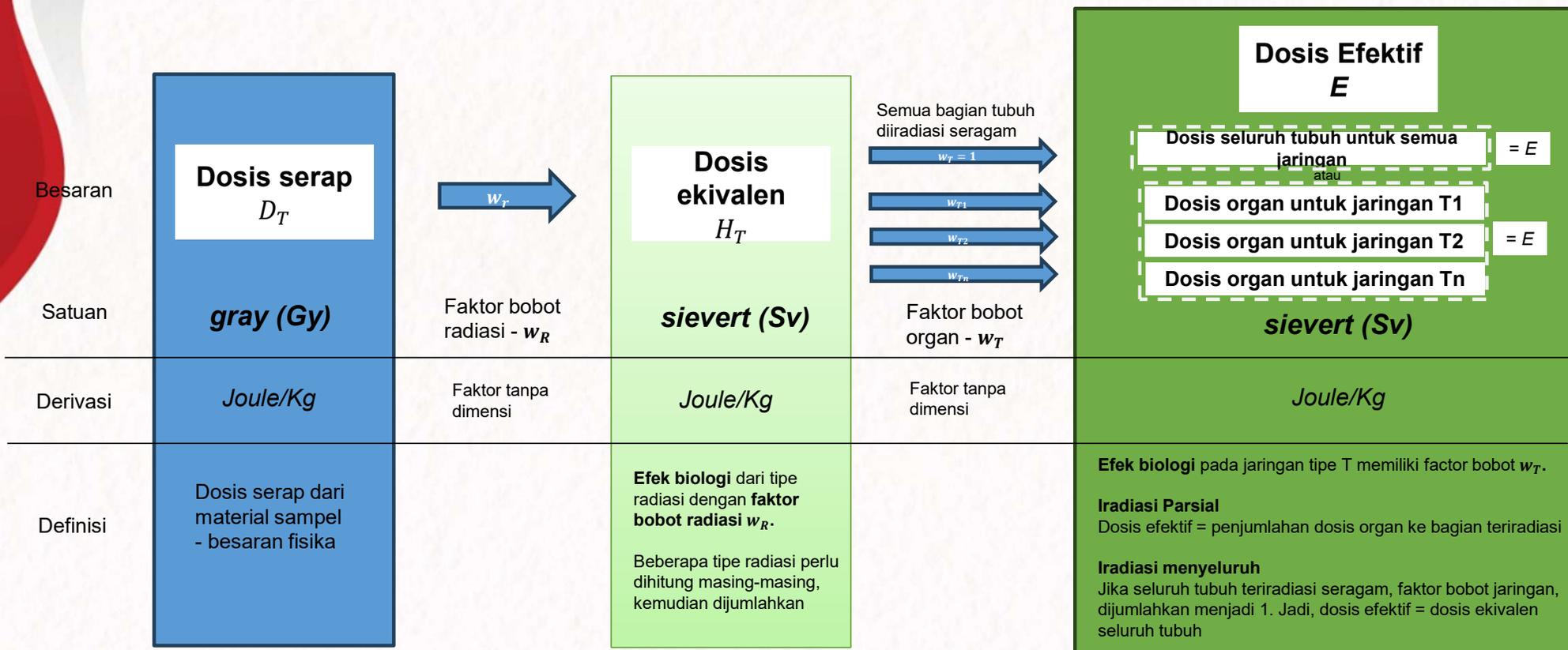
$$H = \sum (D \cdot w_R)$$

$$H = D_{beta} \cdot w_{R_{beta}} + D_{gamma} \cdot w_{R_{gamma}}$$

$$H = 0.5 \cdot 1 + 0.8 \cdot 1$$

$$H = 1.3 \text{ mSv}$$

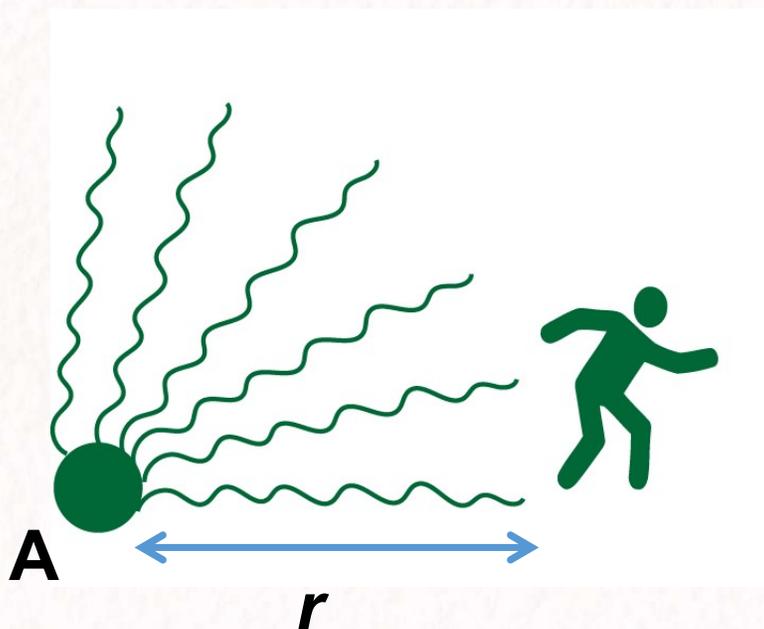
# Hubungan antar jenis dosis (proteksi) dalam satuan SI



# Pengayaan

Yang berkaitan erat antara aktivitas radiasi menjadi laju dosis

# Aproximasi laju dosis (Gamma)



Persamaan aproksimasi laju dosis:

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{r^2} \dots\dots\dots(14)$$

$$\dot{H} = h \frac{A}{r^2} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana:

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

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

$\Gamma$  = faktor gamma (R.m<sup>2</sup>/Ci.jam)

$h$  = konstanta laju dosis (mSv.m<sup>2</sup>/MBq.jam)

$A$  = aktivitas (MBq) atau (Ci)

$r$  = jarak antara orang dan sumber (m)

\*Syarat:

-  $r$  harus 10x lebih besar dari dimensi sumber

# Faktor gamma dan konstanta dosis

Tabel faktor gamma dan konstanta dosis

Radioisotop	Energi (MeV)	$\Gamma$ (R.m <sup>2</sup> /Ci.jam )	h (mSv.m <sup>2</sup> /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

# QUIZ

Scan QR berikut

Ketik link berikut

[joinmyquiz.com](https://joinmyquiz.com)

Masukkan nomor

**4192 8392**

join my quiz.com • 41928392



## 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.

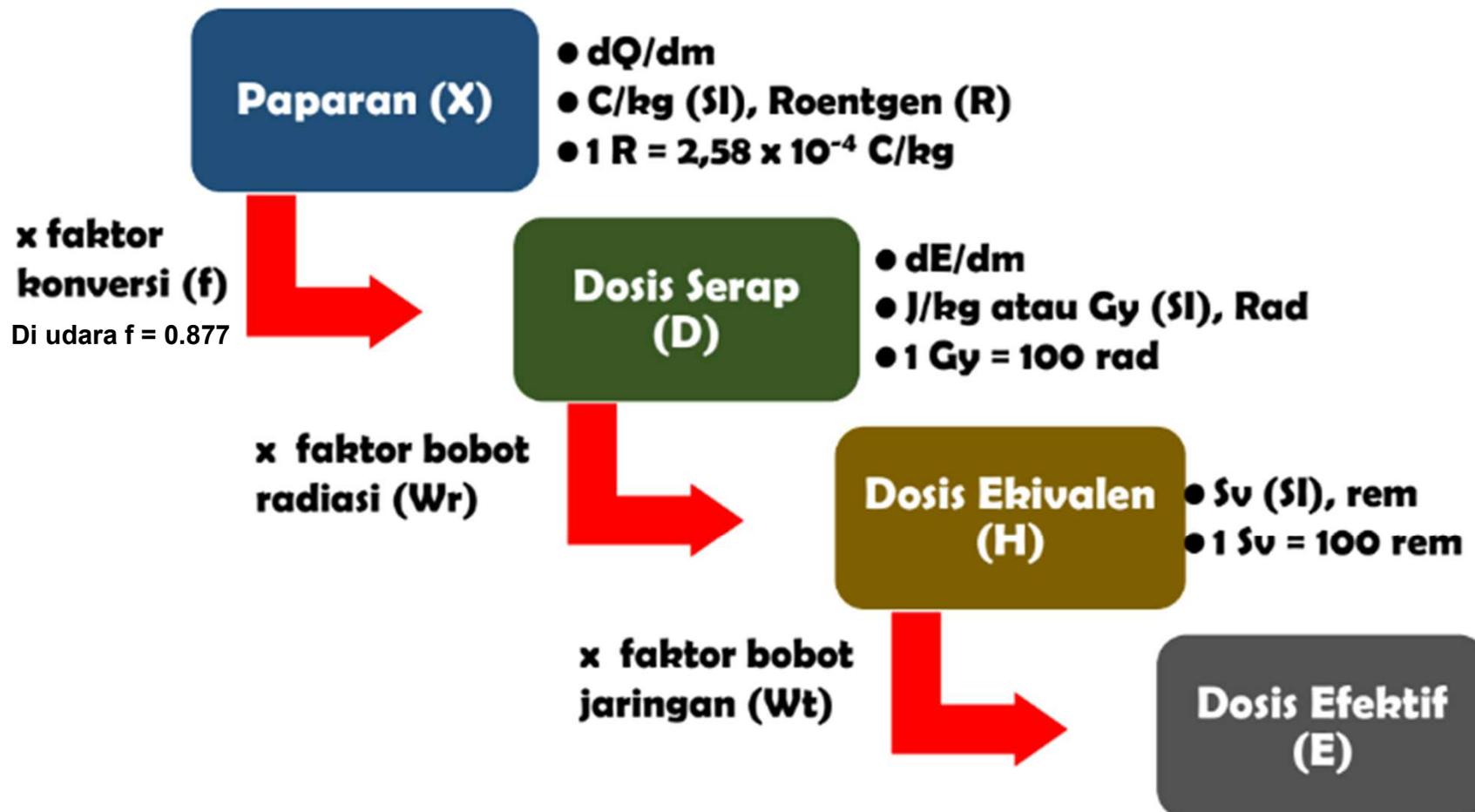
Contoh waktu paro:

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

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

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

# Rangkuman



## 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

# Terima Kasih

*Atas Perhatian Anda*



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



[www.brin.go.id](http://www.brin.go.id)



Brin Indonesia



@brin\_indonesia



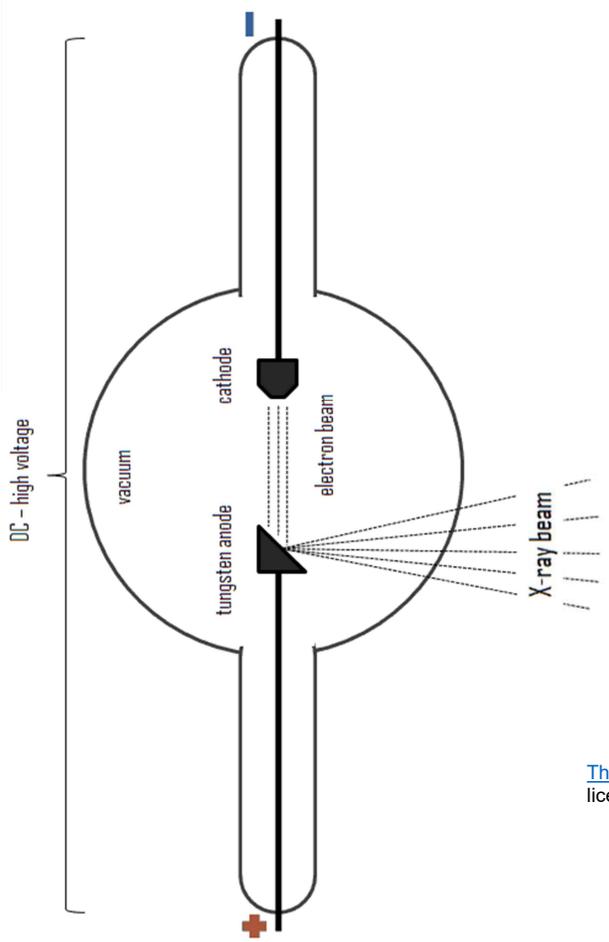
@brin.indonesia



*Bridging Sciences*  
Empowering Talents

@dpk brin

# Menghitung laju dosis (sinar-X)



This Photo by Unknown Author is licensed under [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

$$\dot{D} = \frac{Output \times mA}{t} \dots\dots\dots(12)$$

$$D = Output \times mAs \dots\dots\dots (13)$$

- $\dot{D}$  = laju dosis serap
- mA = Arus tabung sinar-X (milliampere)
- mAs = milliampere-sekon (mA x waktu exposure)
- t = waktu exposure dalam detik
- Output = keluaran sinar-X (mGy/mAs)
- \*Output biasanya ditemukan pada spesifikasi alat (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](https://www.ehs.colostate.edu/_PDF/Rad/Mod-5.pdf)