



Apakah Anda pernah berpikir bagaimana kita bisa mengukur sesuatu yang tidak bisa kita lihat, seperti radiasi?

Besaran fisika apa saja yang digunakan untuk memahami radiasi ini?"

Besaran Radiasi dan Besaran Proteksi Radiasi

Bisma Barron Patrianesha, M.Si.

Pelatihan Bagi 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

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 [^{177}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 [^{111}In] In-DOTA-TATE in kidneys, Physica Medica Q1 (2025)

Bisma Barron P.

© BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

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

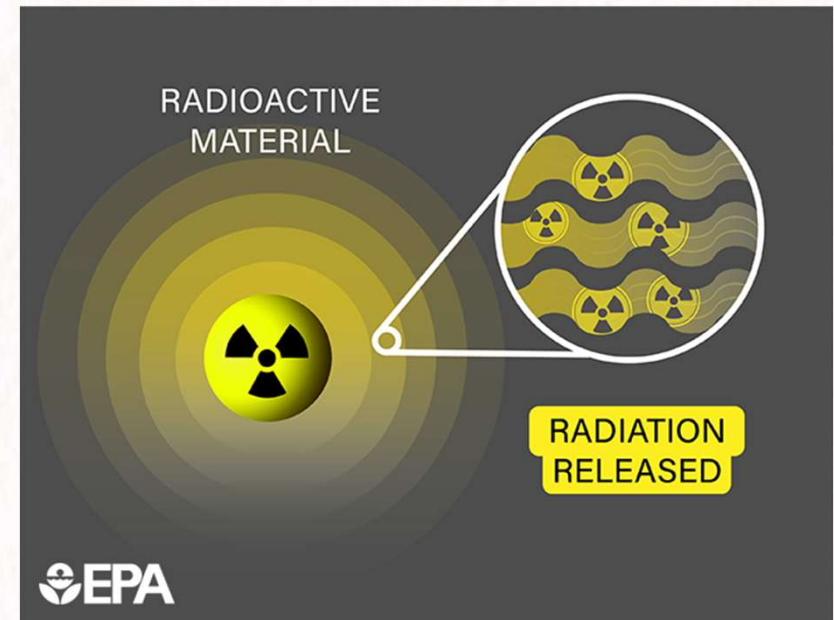
- Aktivitas Radiasi
- Satuan Aktivitas
- Waktu Paro
- Besaran Fisik
- Besaran Proteksi

Pertanyaan pendahuluan

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

1

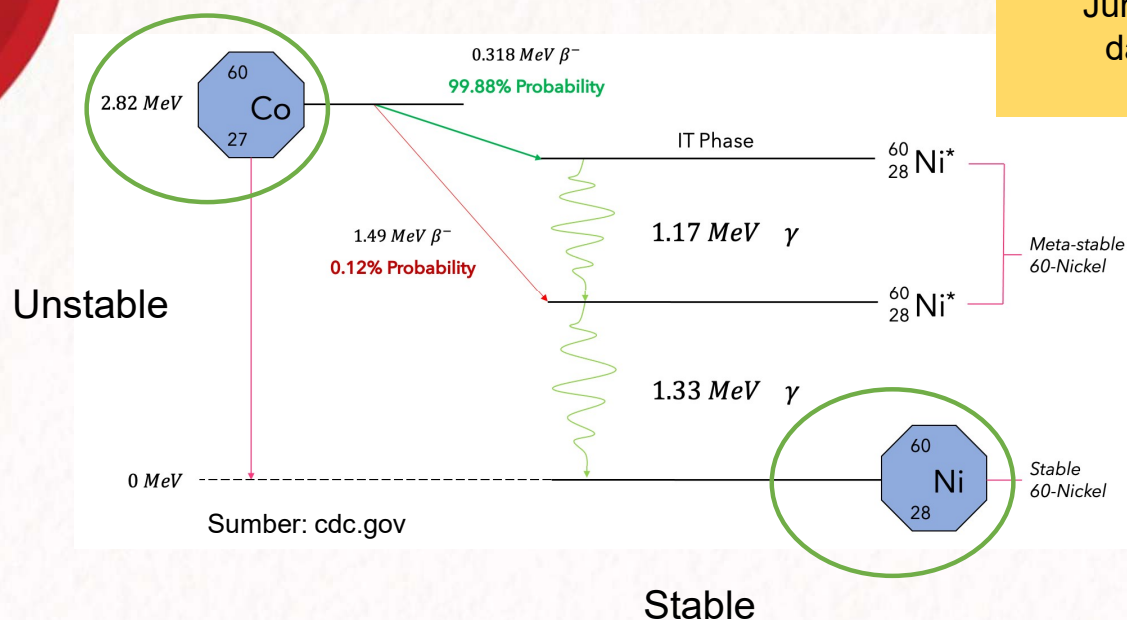
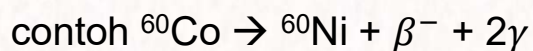
Aktivitas Radiasi



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

$$A =$$

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

Konstanta Peluruhan

Aktivitas awal

Waktu peluruhan

Satuan Aktivitas



Marie Curie dan Pierre Curie (1903)
 Penemu radium dan polonium



Satuan lama

Cocok untuk zat radioaktif dengan aktivitas tinggi



Henri Becquerel (1975)
 Satuan Internasional dari Aktivitas radiasi adalah Becquerel (Bq)



Satuan Internasional (SI)

Cocok untuk zat radioaktif dengan aktivitas kecil

Hubungan Satuan Aktivitas

Konversi diantara 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 (millicurie)	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

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

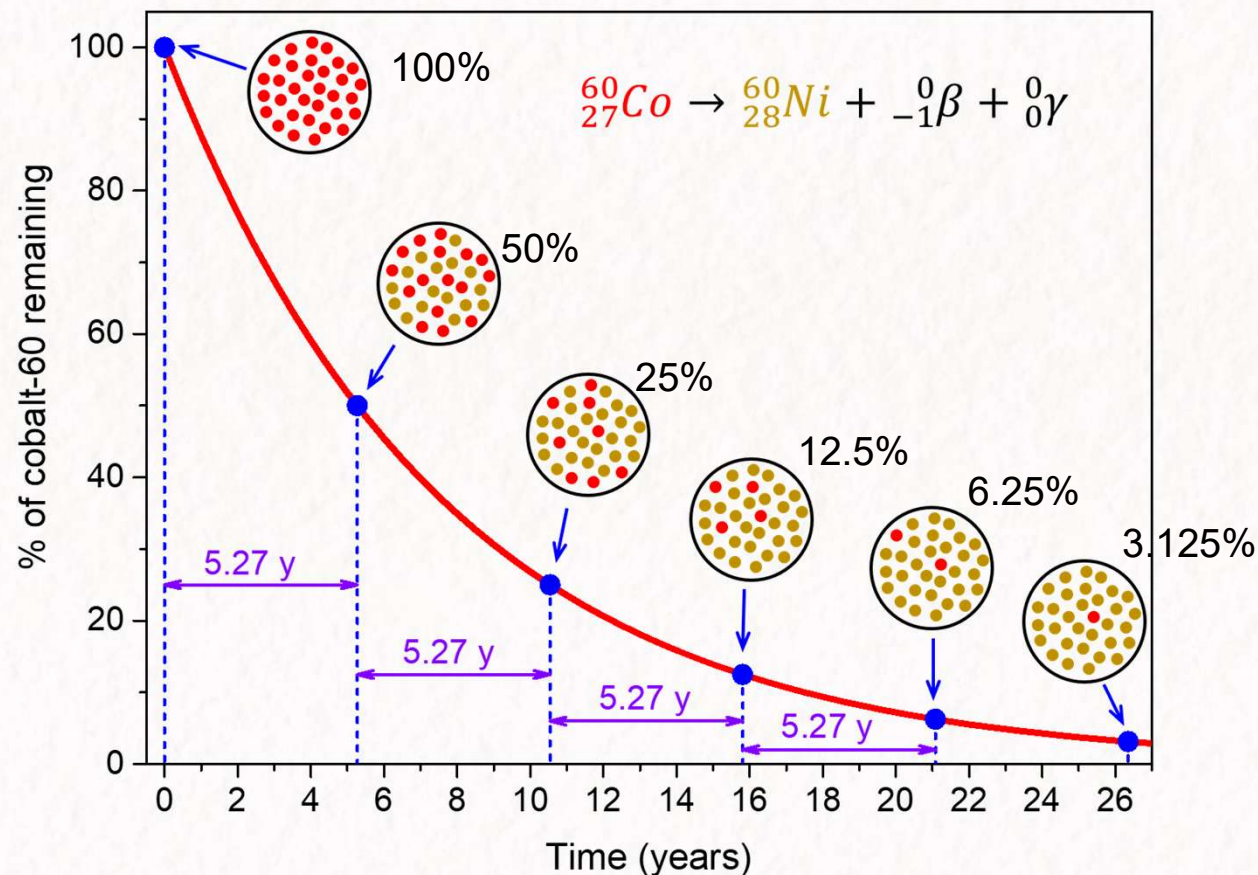
$^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30$ tahun

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

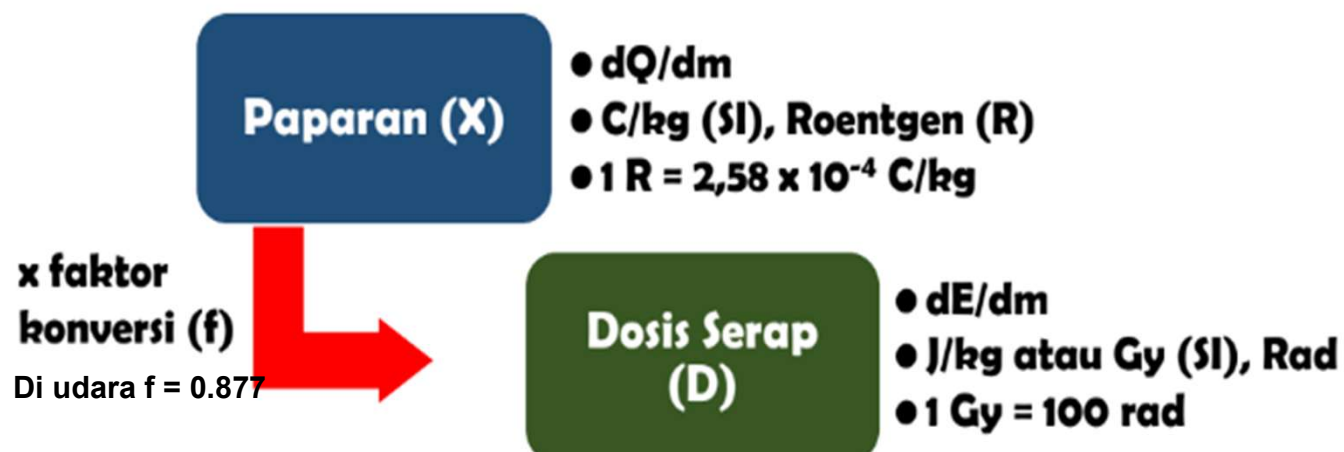
Ayo interaktif!

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



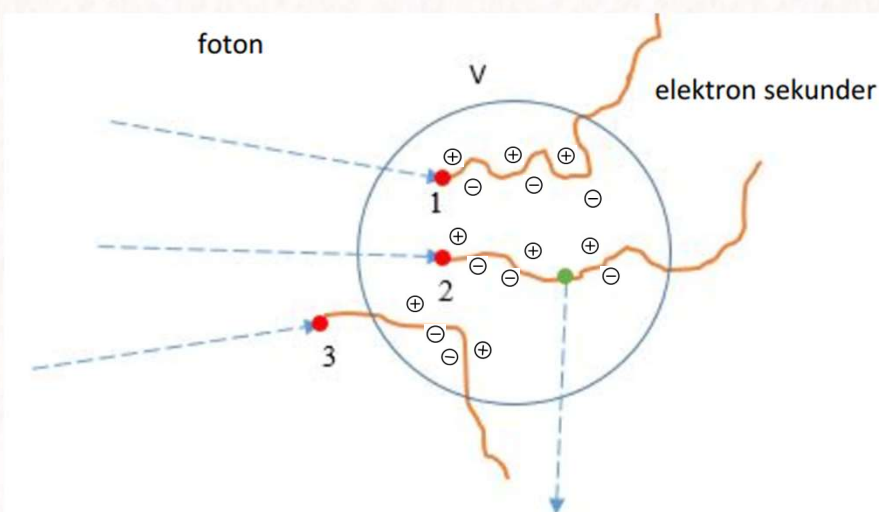
4

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

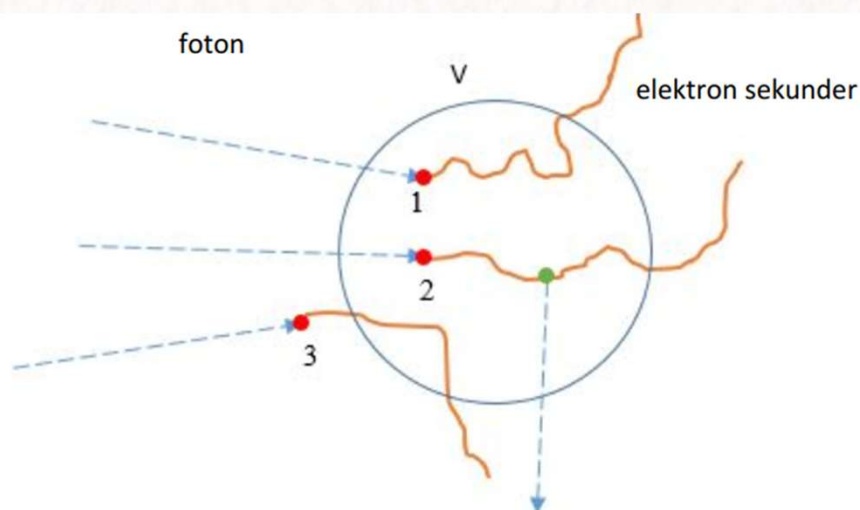
Energi yang dibutuhkan untuk membentuk 1 pasang ion = 33.97 J/C

1 R = 2.58×10^{-4} C/Kg

Sumber: Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry,²⁰ 1986

Kerma

Kerma (***K**inetic **E**nergy **R**elaxed per unit **M**Ass*) 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)

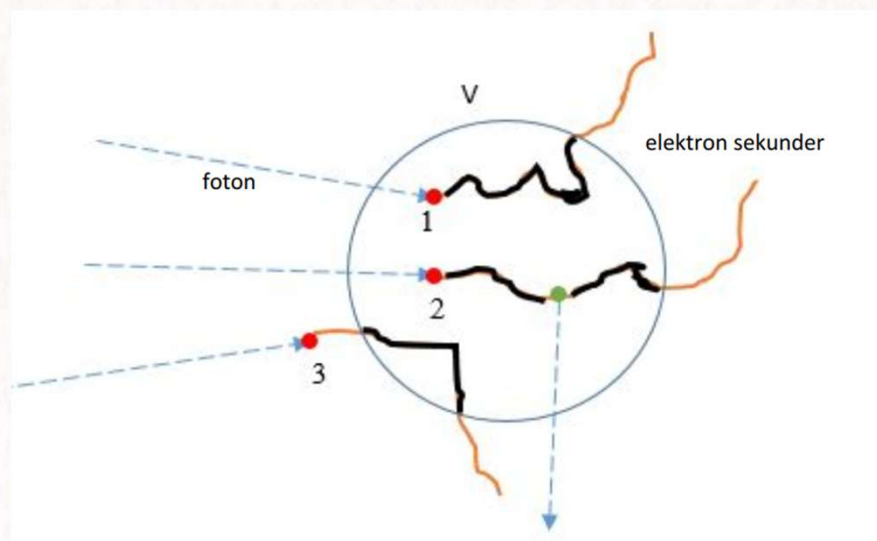
dm = massa pada interaksi energi terjadi (Kg)

Gambar 2. Ilustrasi Kerma terjadi pada Foton 1 dan 2

Sumber: Frank Herbert Attix, Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry,²¹1986

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)

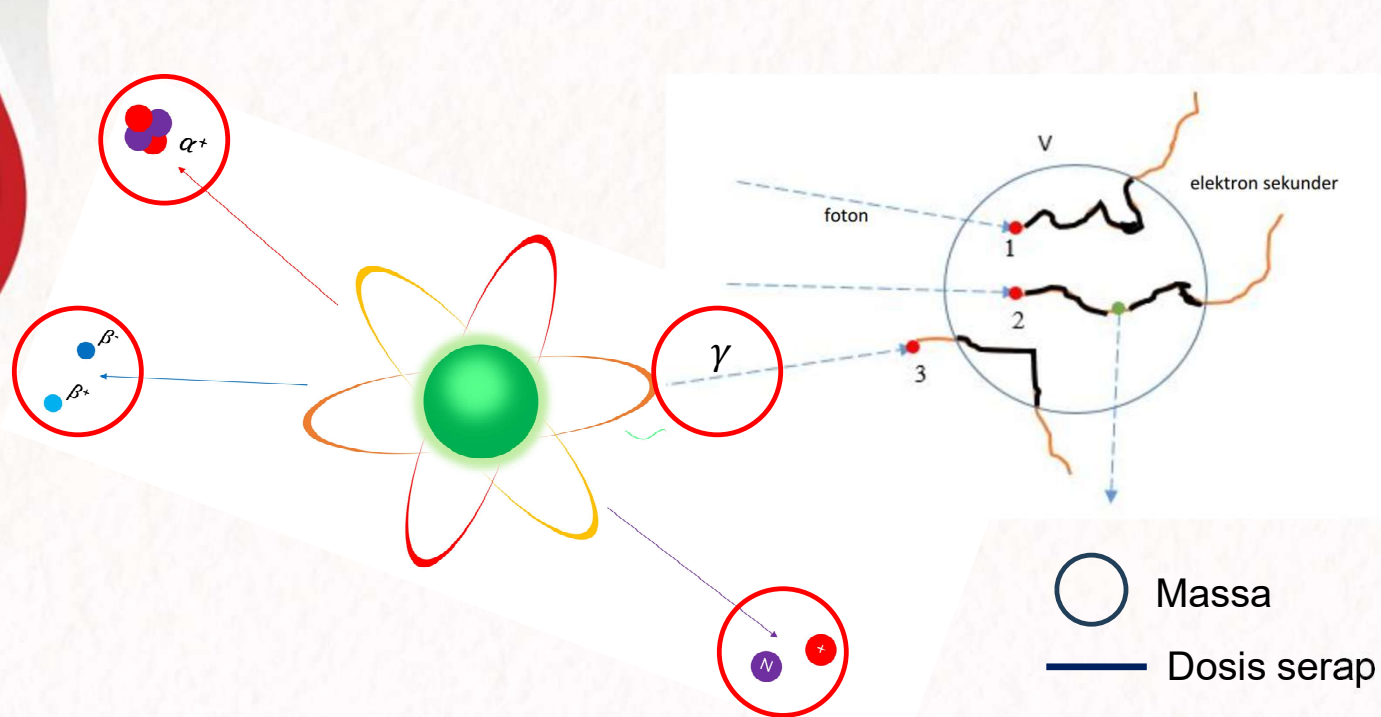
Satuan SI dalam J/kg atau Gray (Gy)

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,²²1986

Perjalanan radiasi → dosis



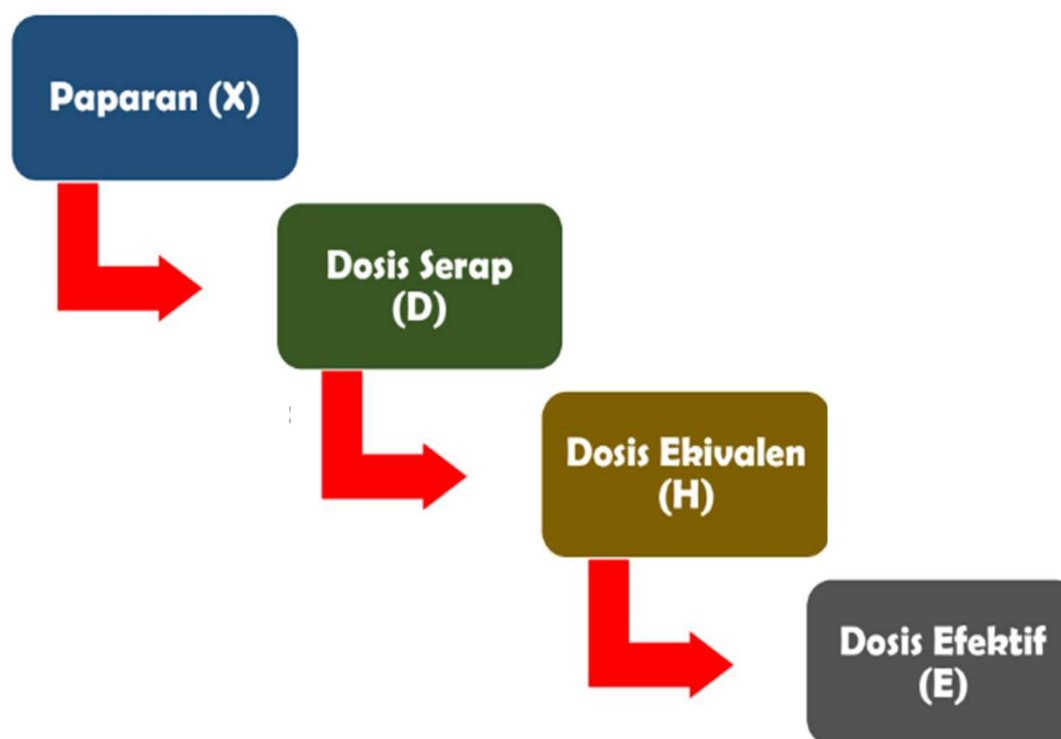
Narasikan!!



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

Sv

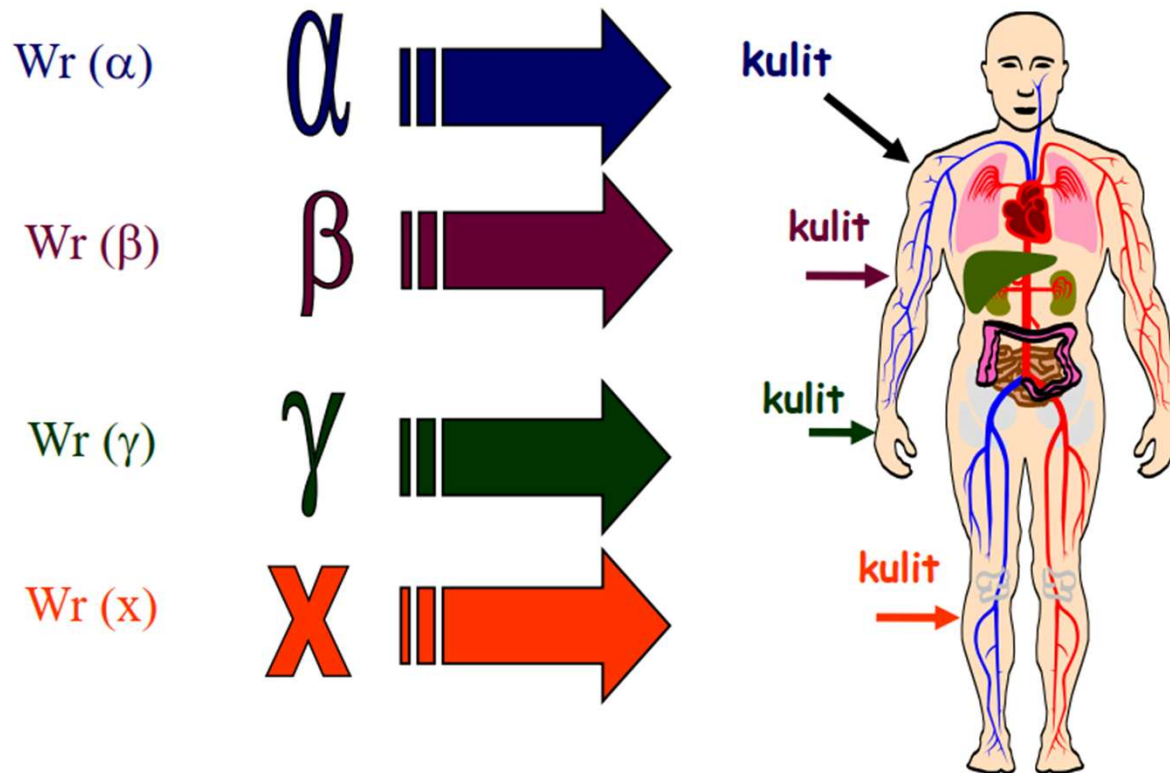
Unit Non-SI

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. $10 \text{ keV} < E \leq 100 \text{ keV}$	10
c. $100 \text{ keV} < E \leq 2 \text{ MeV}$	20
d. $2 \text{ MeV} < E \leq 20 \text{ MeV}$	10
e. $E > 20 \text{ MeV}$	5
4. Proton, selain proton recoil, dengan energi $> 2 \text{ MeV}$	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

Sv

Unit Non-SI

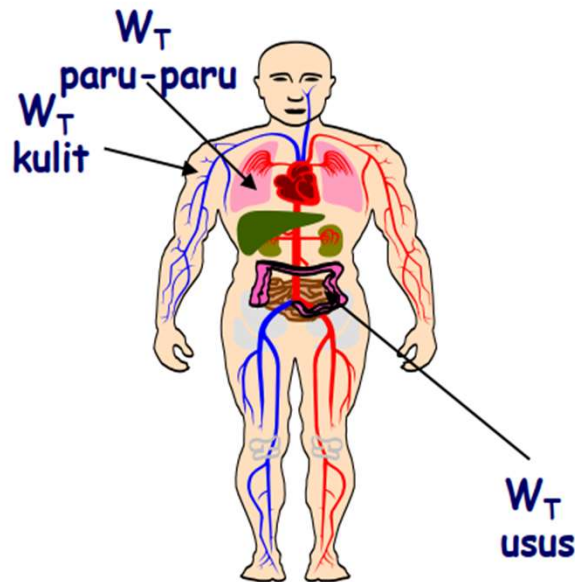
Rem

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	Σw_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
	Total	1.00

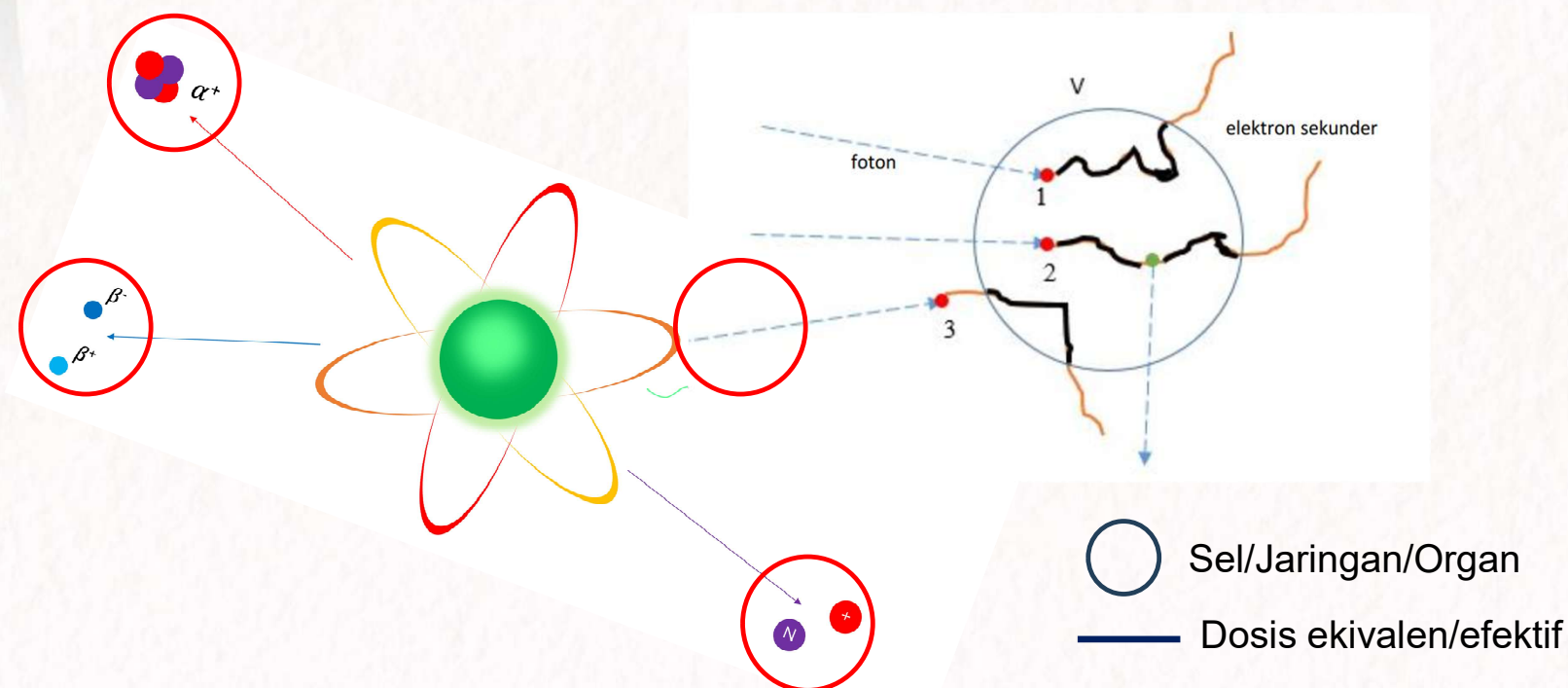


Lebih sensitif

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 efektif



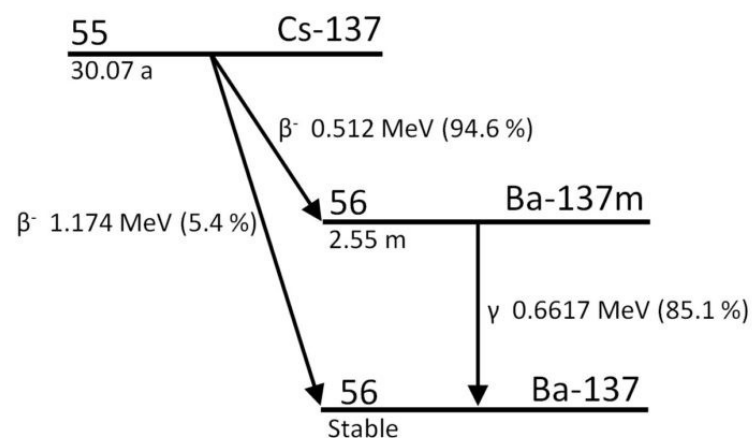
Narasikan!!



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

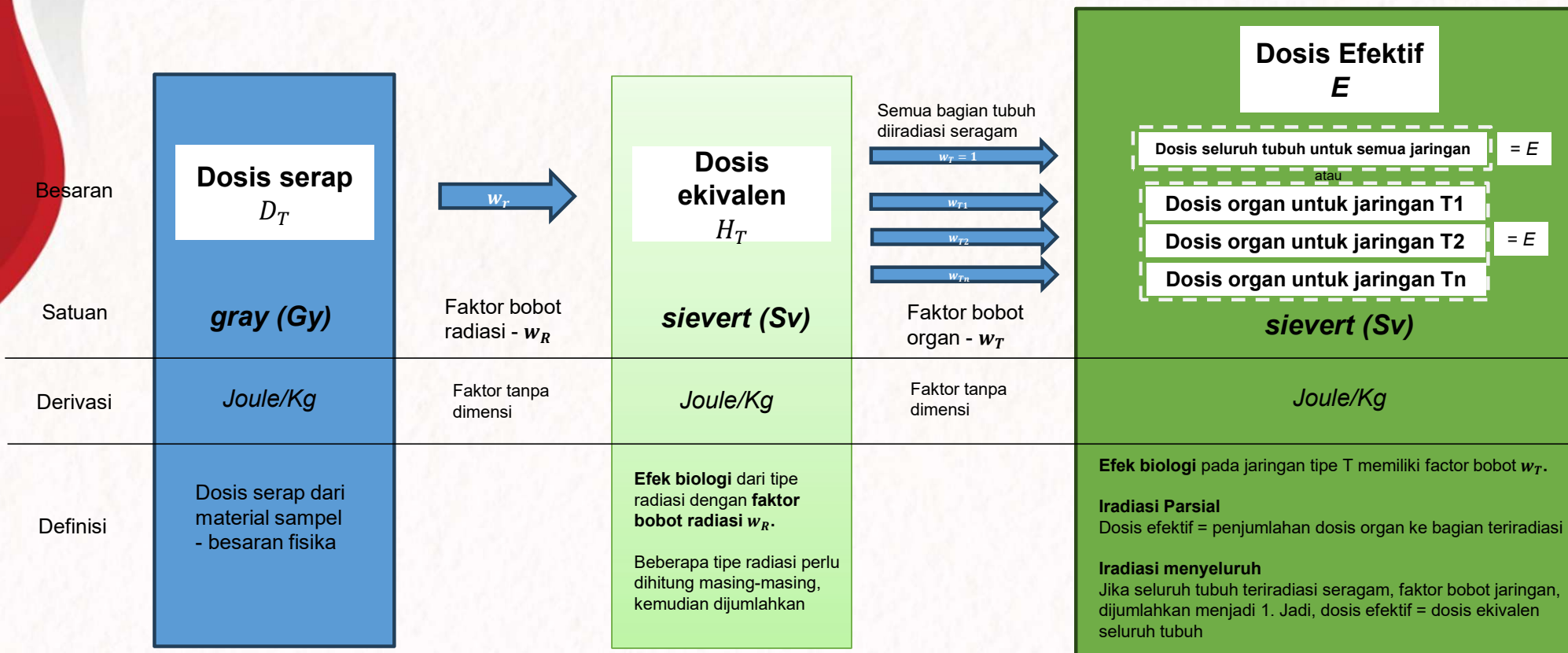
$$H = \sum (D \cdot w_R)$$

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

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

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

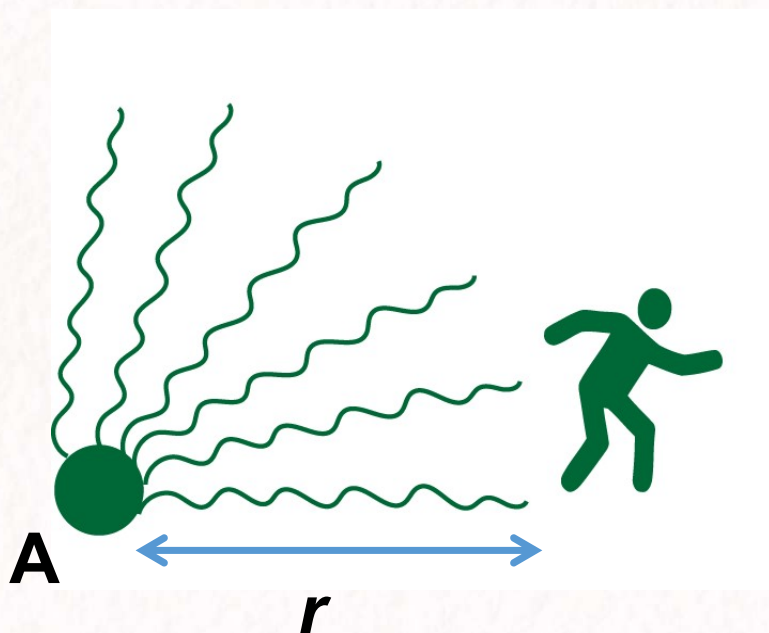
Hubungan antar jenis dosis (proteksi) dalam satuan SI



Pengayaan

Yang berkaitan erat antara aktivitas radiasi menjadi laju dosis

Aproximasi laju dosis (Gamma)



*Syarat:

- r harus 10x lebih besar dari dimensi sumber

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)

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

Sumber: JRIA, ICRU 1985

QUIZ

Scan QR berikut

Ketik link berikut

joinmyquiz.com

Masukkan nomor

46513880

<https://quizizz.com/join?gc=46513880>



Rangkuman

$$\begin{array}{c} \text{Aktivitas} \\ A \end{array} = \begin{array}{c} \text{Aktivitas} \\ A_0 \\ \text{awal} \end{array} e^{-\begin{array}{c} \text{Konstanta} \\ \text{Peluruhan} \\ \lambda t \\ \text{Waktu} \\ \text{peluruhan} \end{array}}$$

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

Waktu Paro

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

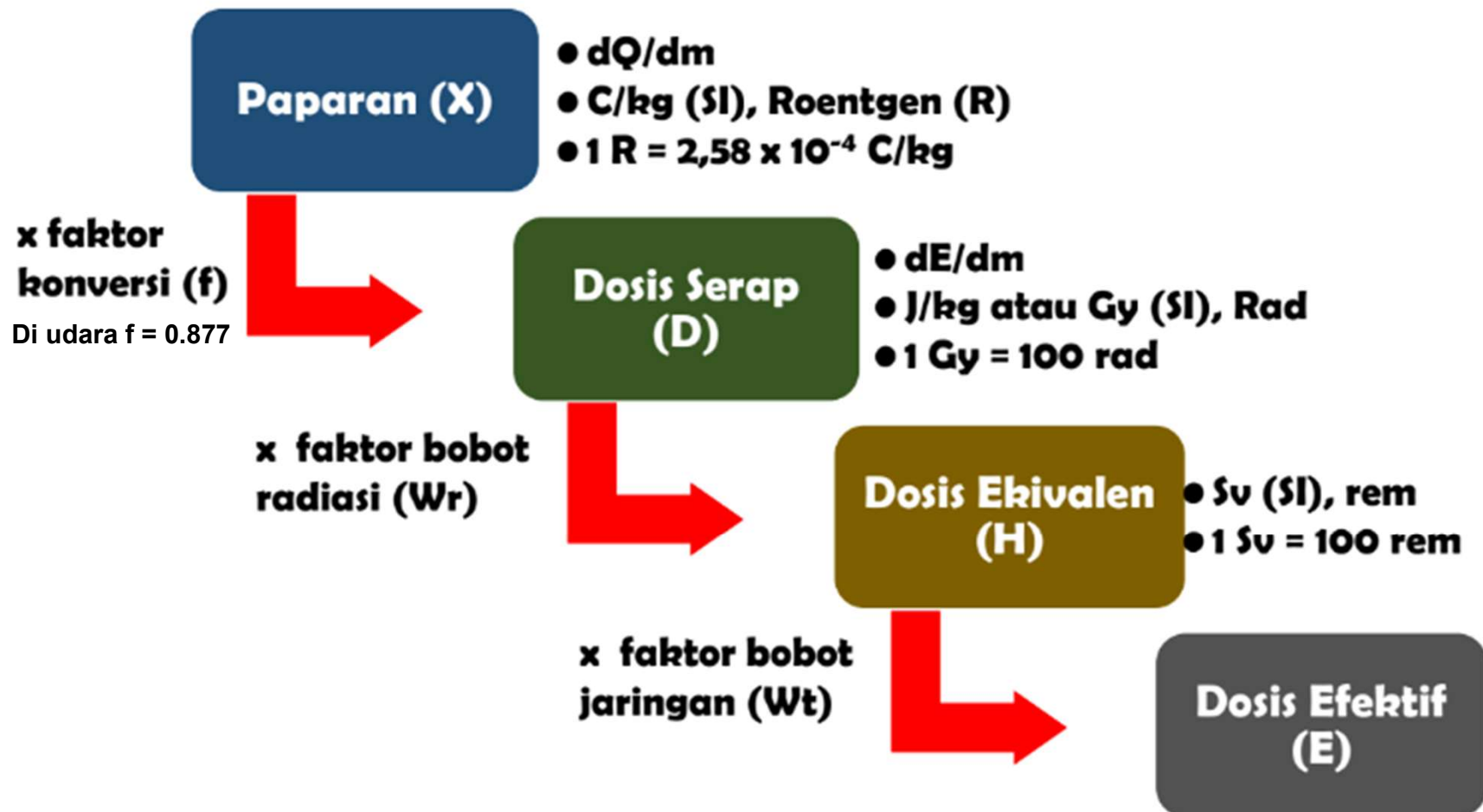
Contoh waktu paro:

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

- 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 ekivalennya?

(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 ekivalen 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 ekivalen (H)?

- A. Dosis ekivalen adalah dosis serap dikalikan faktor bobot jaringan
- B. Dosis ekivalen adalah dosis serap dikalikan faktor bobot radiasi
- C. Dosis serap selalu lebih besar dari dosis ekivalen
- D. Dosis ekivalen 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 ekivalen
- C. Kerma
- D. Aktivitas radiasi

8. Sebuah sumber radiasi memiliki aktivitas 100 MBq. Jika faktor gamma untuk radionuklida tersebut adalah $0,091 \text{ mSv.m}^2/\text{MBq.jam}$, 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



Brin Indonesia



@brin_indonesia



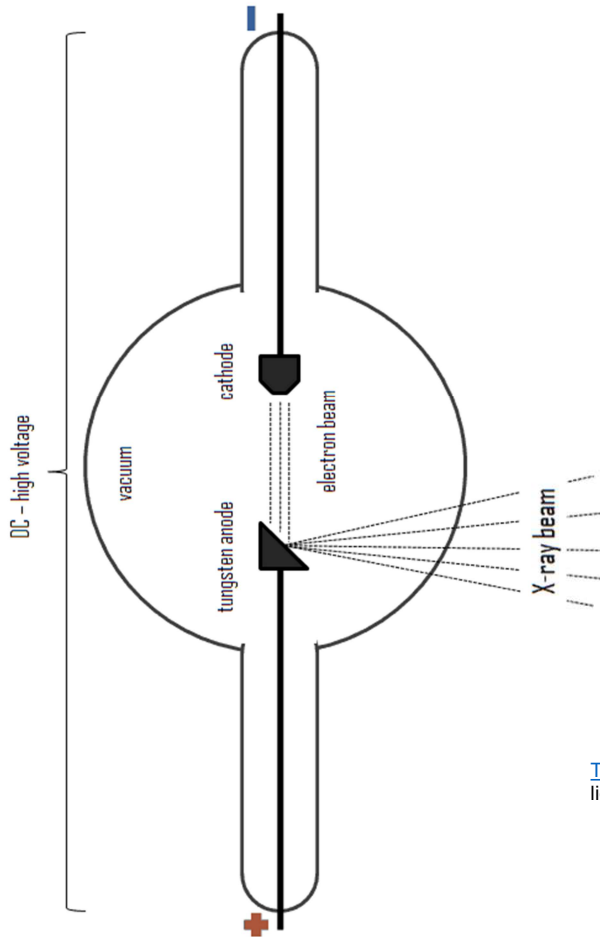
@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin

Menghitung laju dosis (sinar-X)



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

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

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

- $\dot{D}$ = 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