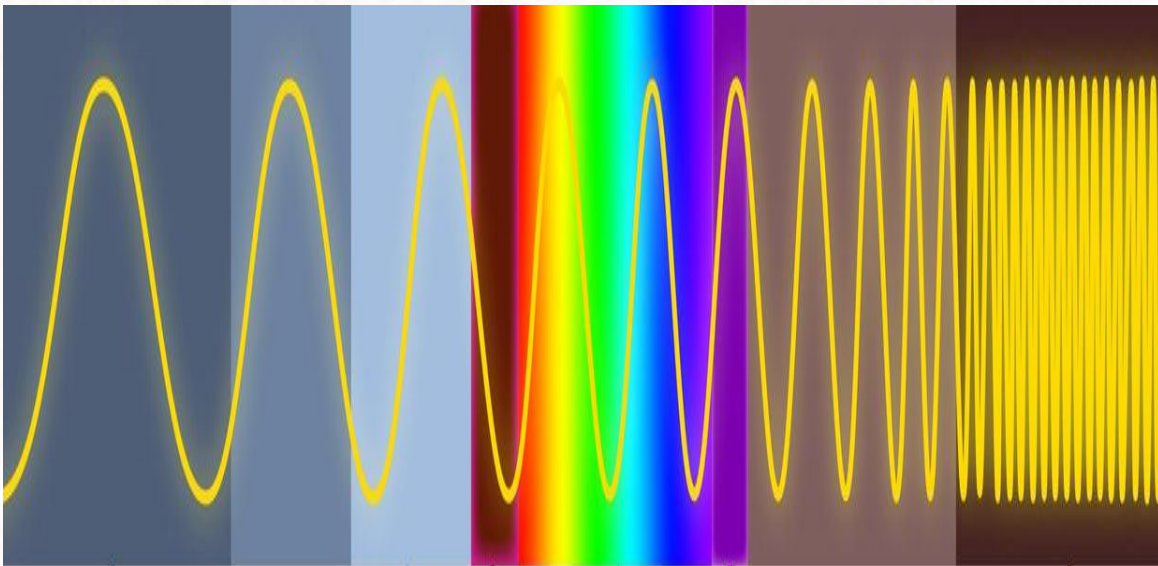


Besaran dan Satuan Radiasi

Fajar Panuntun

Pelatihan Petugas Keahlian pada
Fasilitas Produksi Radioisotop dan
Radiofarmaka dari Siklotron
10 – 23 Juli 2026



OUTLINE

AKTIVITAS RADIASI

BESARAN/SATUAN RADIASI

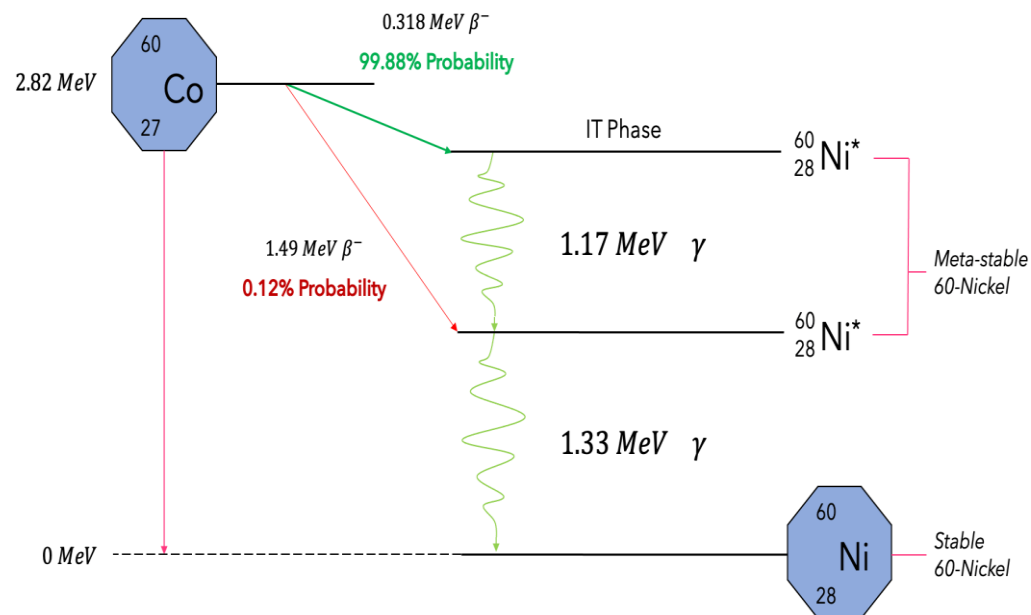
**BESARAN/SATUAN DOSIS
RADIASI**



AKTIVITAS RADIASI

Aktivitas Radiasi

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

Aktivitas Radiasi

Satuan Aktivitas Radiasi



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

Ci

Satuan lama

Cocok untuk zat radioaktif dengan
aktivitas tinggi



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

Bq

Satuan Internasional (SI)

Cocok untuk zat radioaktif dengan
aktivitas kecil

Aktivitas Radiasi

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

Aktivitas Radiasi

Waktu Paro (Fisik)

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

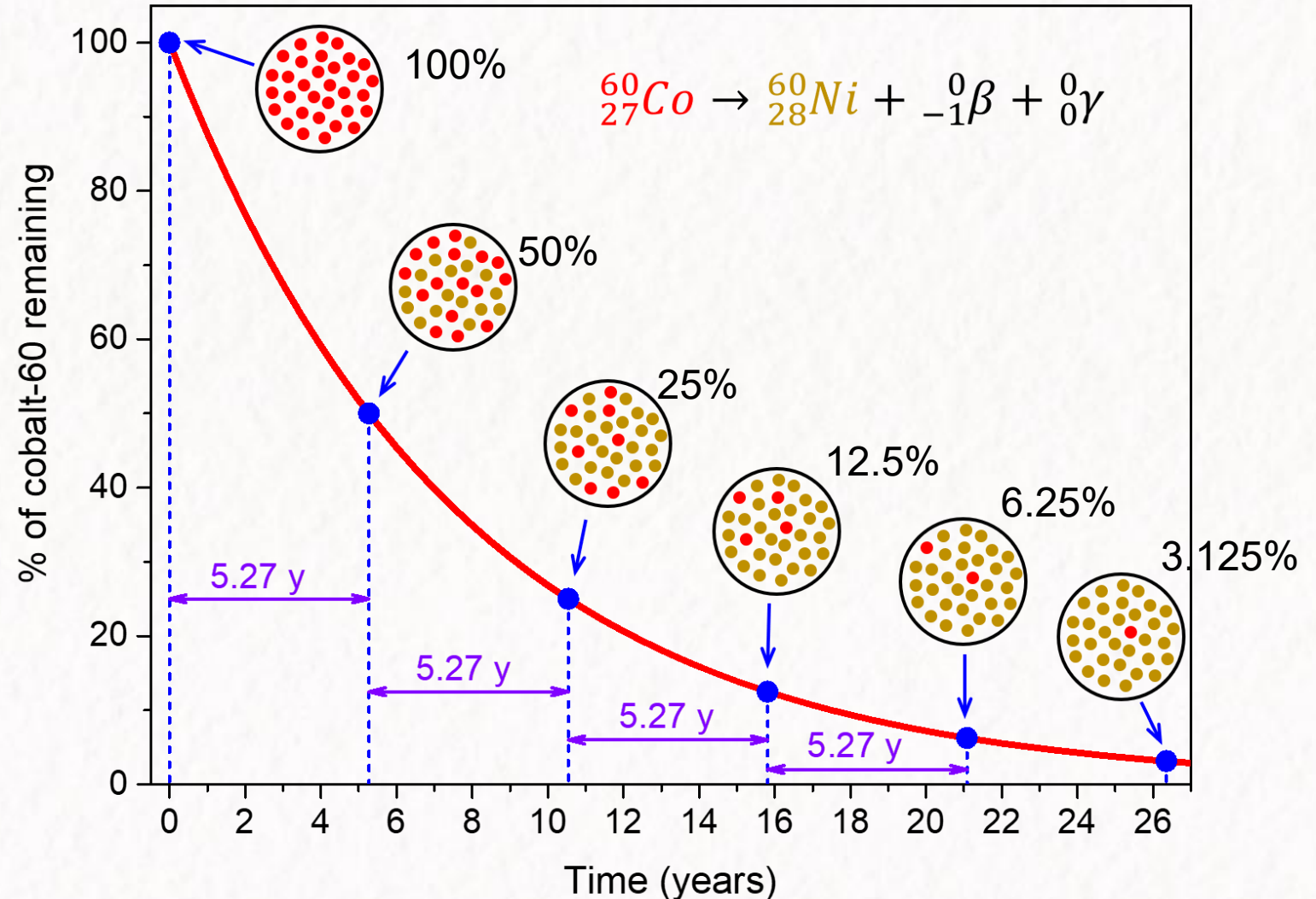
$^{137}\text{Cs} \rightarrow t_{1/2} = 30$ tahun

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



Contoh:

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

Langkah Penyelesaian:

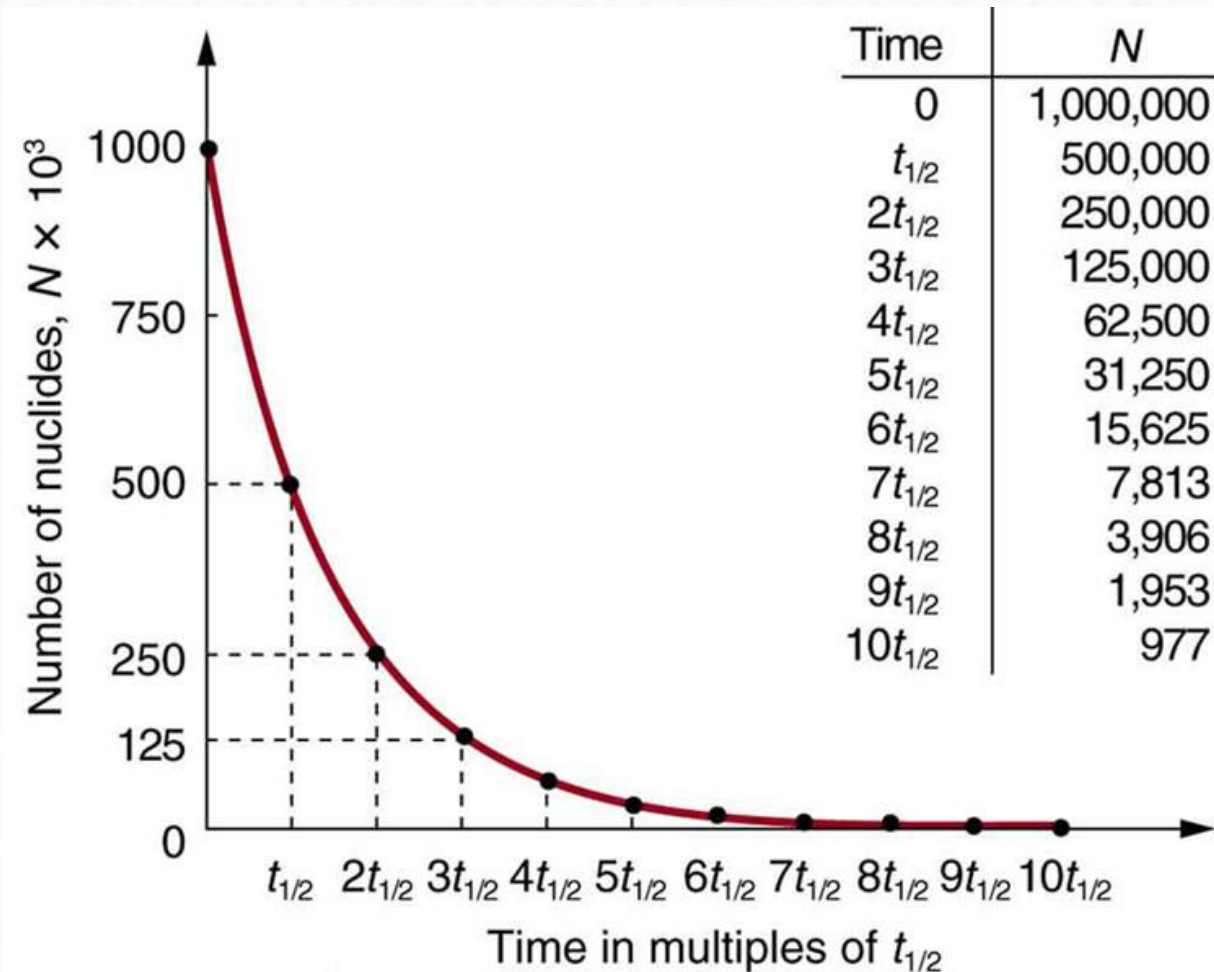
1. Cari nilai $n = t/t_{1/2} \rightarrow n = 15.81/5.27 \rightarrow n = 3$

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

Aktivitas Radiasi

Waktu Paro Biologi

Waktu Paro Biologi :
waktu yang diperlukan
radionuklida agar aktivitasnya
menjadi setengah dari aktivitas
mula-mula melalui proses
ekskresi oleh tubuh



Aktivitas Radiasi

Waktu Paro Efektif

$$\lambda_{eff} = \lambda_f + \lambda_b$$



$$1/T_{ef} = 1/T_f + 1/T_b$$

Konstanta peluruhan efektif (λ_{eff}), yang merupakan kombinasi antara waktu paruh fisik dan waktu paruh biologi

Radionuklida	T_f	T_b	T_{ef}
I-131	8 hari	138 hari	7,6 hari
Sr-90	28,8 tahun	50 tahun	18,27 tahun
Cs-137	30 tahun	70 hari	70 hari
Ir-192	74 hari	8 hari	7,2 hari

CONTOH:

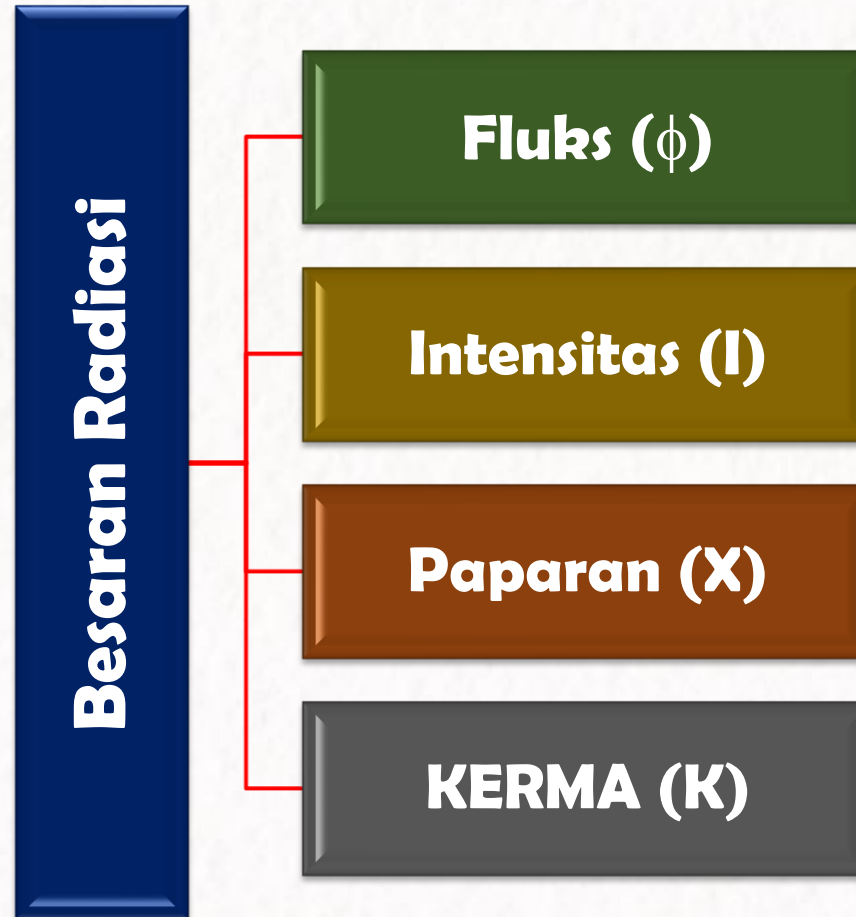
Diketahui aktivitas zat radioaktif yang masuk ke dalam tubuh seseorang adalah 10 uCi, diketahui umur paro zat radioaktif tersebut adalah 8 hari dan dalam waktu 138 hari 50% dari zat radioaktif tersebut dikeluarkan dari dalam tubuh karena proses biologi. Berapa umur paruh efektif zat radioaktif tersebut?

$$\begin{aligned}1/T_{ef} &= 1/T_f + 1/T_b \\1/T_{ef} &= 1/8 + 1/128 \\1/T_{ef} &= 138/1104 + 8/1104 \\1/T_{ef} &= 146/1104 \\T_{ef} &= 7,56 \text{ hari}\end{aligned}$$



BESARAN RADIASI

Besaran Radiasi



Besaran Radiasi

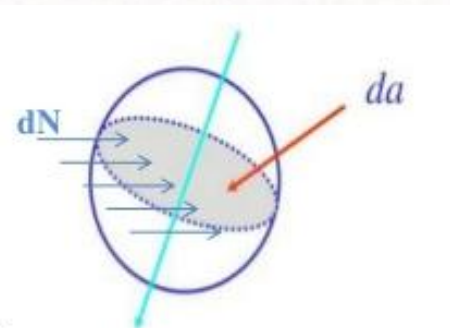
Fluks (ϕ)

Fluks radiasi:
jumlah radiasi yang
melalui satu satuan
luas per satuan
waktu

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



Satuan
 $m^{-2}s^{-1}$

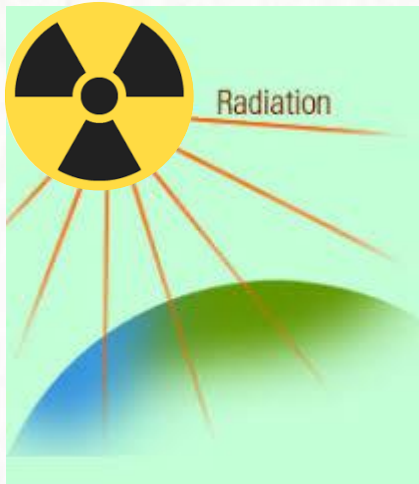


Besaran Radiasi

Intensitas (I)

- **Intensitas radiasi (I) merupakan perkalian antara kuantitas dan energi**

Satuan $\text{joule.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$



$$I = \phi \times E$$

Aktivitas Radiasi

Paparan (X)

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).

Pengertian:

- Pasangan ion yang terbentuk per massa udara
- Kondisi STP

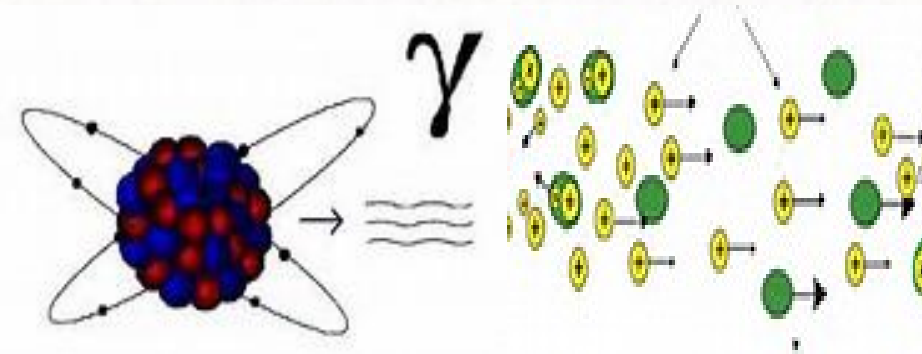
Jenis Radiasi

- Gamma (γ) dan Sinar-X

Medium

- Udara

Ionized air particles



Besaran Radiasi

Satuan Paparan (X)

Satuan Paparan (X)

**Satuan
International
(SI)**

Satuan Lama

Konversi

**Coulomb/kg
(C/Kg)**

Roentgen (R)

**1 R = $2,58 \times 10^{-4}$
C/kg**

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

**Laju paparan ($\dot{X}$)
Satuan**

**: paparan per waktu
: C/(kg.jam) atau R/jam**

Besaran Radiasi

KERMA

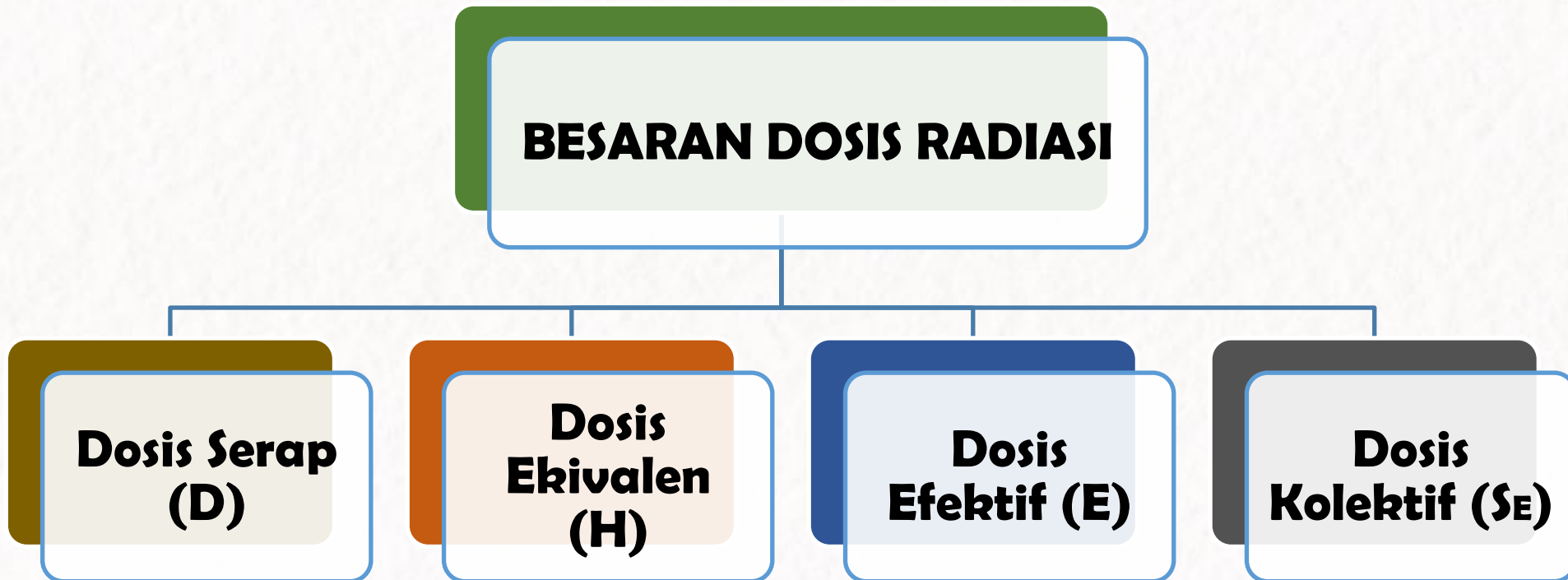
Kerma (***K*inetic *E*nergy *R*eleased per unit *MA*ss**) adalah suatu kuantitas radiasi yang menyatakan **banyaknya energi kinetik yang ditransfer** ke partikel bermuatan **di suatu volume**. Satuan SI-nya adalah J/Kg atau Gy





BESARAN DOSIS RADIASI

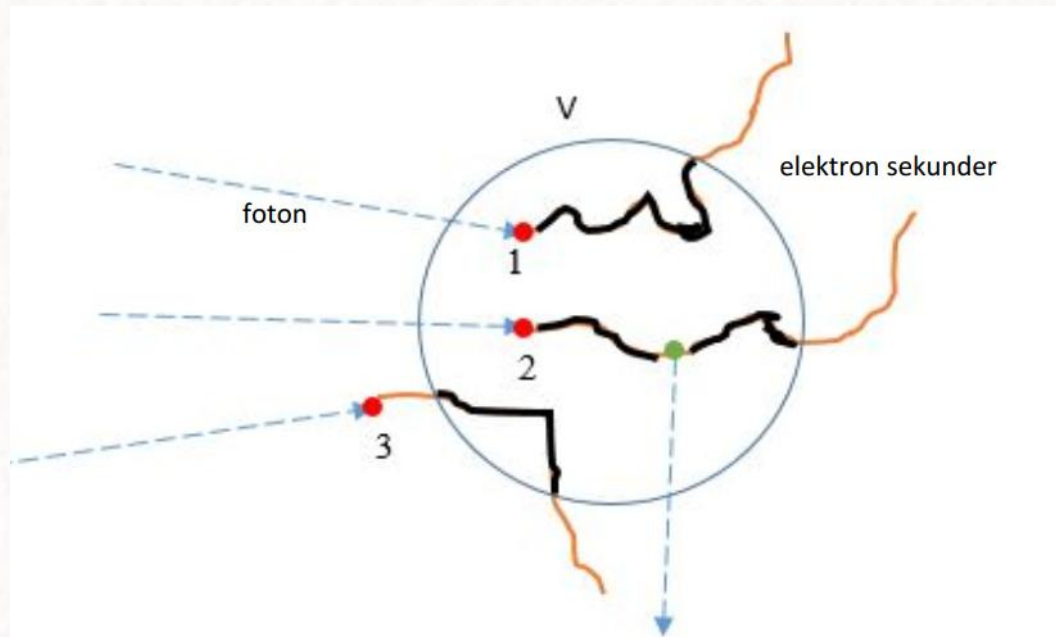
Besaran Radiasi



Besaran Radiasi

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

Besaran Radiasi

Dosis Serap

Hubungan Dosis Serap dengan Paparan

$$D = f \cdot X$$

D = dosis serap (Rad)

X = paparan (R)

f = faktor konversi (Rad/R)

Untuk medium udara

$$f = 0,877 \text{ rad/R}$$

Bukan udara

$$f = 0,877 \frac{(\mu/\rho)_m}{(\mu/\rho)_u}$$

$(\mu/\rho)_m$: Koefisien absorpsi energi massa untuk **medium** (*m*).

$(\mu/\rho)_u$: Koefisien absorpsi energi massa untuk **udara** (*u*).

Besaran Radiasi

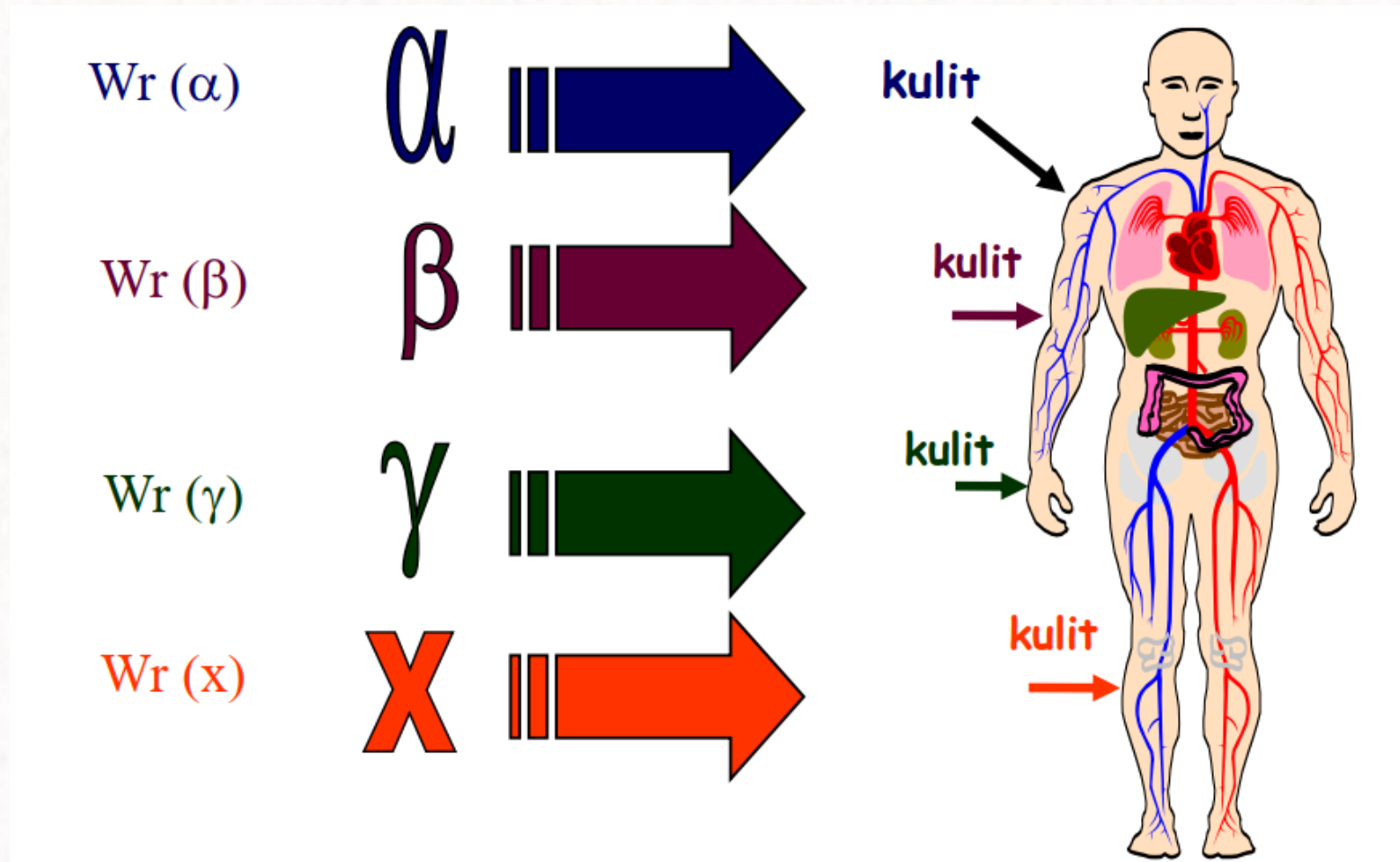
Dosis Serap

Nilai Faktor Konversi untuk foton dengan berbagai energi

Energi Foton (MeV)	Nilai f dalam Air (rad/R)	Nilai f dalam Otot (rad/R)	Nilai f dalam Tulang Keras (rad/R)
0,010	0,019	0,925	3,55
0,020	0,879	0,927	4,23
0,040	0,879	0,920	4,14
0,060	0,905	0,929	2,91
0,080	0,932	0,940	1,91
0,10	0,949	0,949	1,46
0,50	0,965	0,957	0,925
1,00	0,965	0,957	0,919
2,00	0,965	0,955	0,912
3,00	0,962	0,955	0,929

Besaran Radiasi

Dosis Ekuivalen



Semua jenis radiasi

Satu jenis organ/jaringan



Apakah efeknya
akan sama
terhadap kulit?

Besaran 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**

Besaran Radiasi

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 rekoil, dengan energi $> 2 \text{ MeV}$	2
5. Partikel alfa, hasil belah, inti berat	20

Perbedaan nilai
menunjukkan
daya rusak

Tergantung
jenis dan
energi radiasi

Terkait dengan
*Linear Energy
Transfer (LET)*

Besaran Radiasi

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

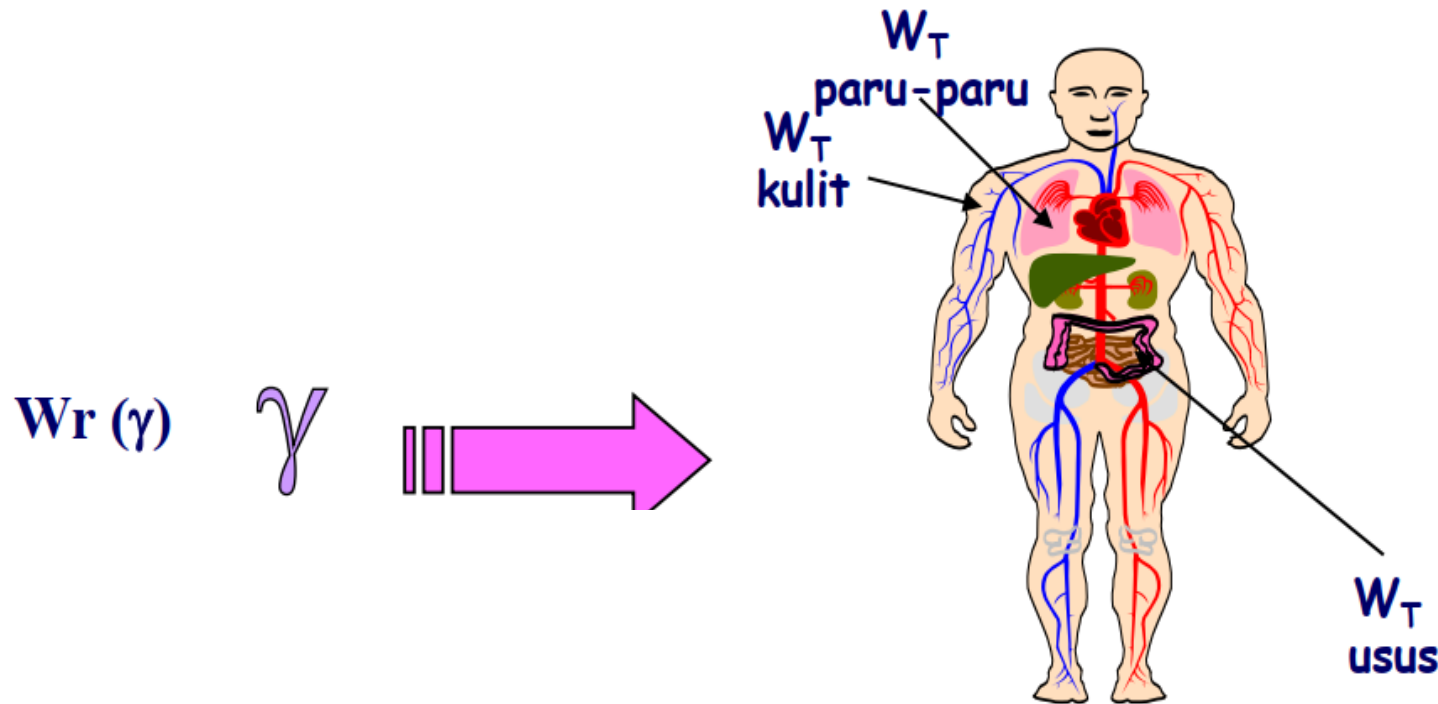
**1 Sv = 100
Rem**

Besaran Radiasi

Dosis Efektif



Apakah setiap jaringan memiliki tingkat kerusakan yang sama jika jenis radiasinya sama?



Satu jenis radiasi

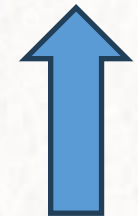
Banyak jenis organ/jaringan

Besaran Radiasi

Faktor Bobot Radiasi

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

Besaran Radiasi

Dosis Kolektif (S_E)

berhubungan dengan
dosis yang diterima oleh
suatu populasi

dapat dinyatakan
dalam dosis ekivalen (H)
atau dosis efektif (E)

Dosis kolektif

$$S_E = p \times E$$

Persamaan

Satuan: Sievert.orang

Besaran Radiasi

Penggunaan Dosis Kolektif (S_E)



memperkirakan jumlah orang dalam populasi yang mungkin terkena efek stokastik

$$N = f \times w_t \times S_E$$

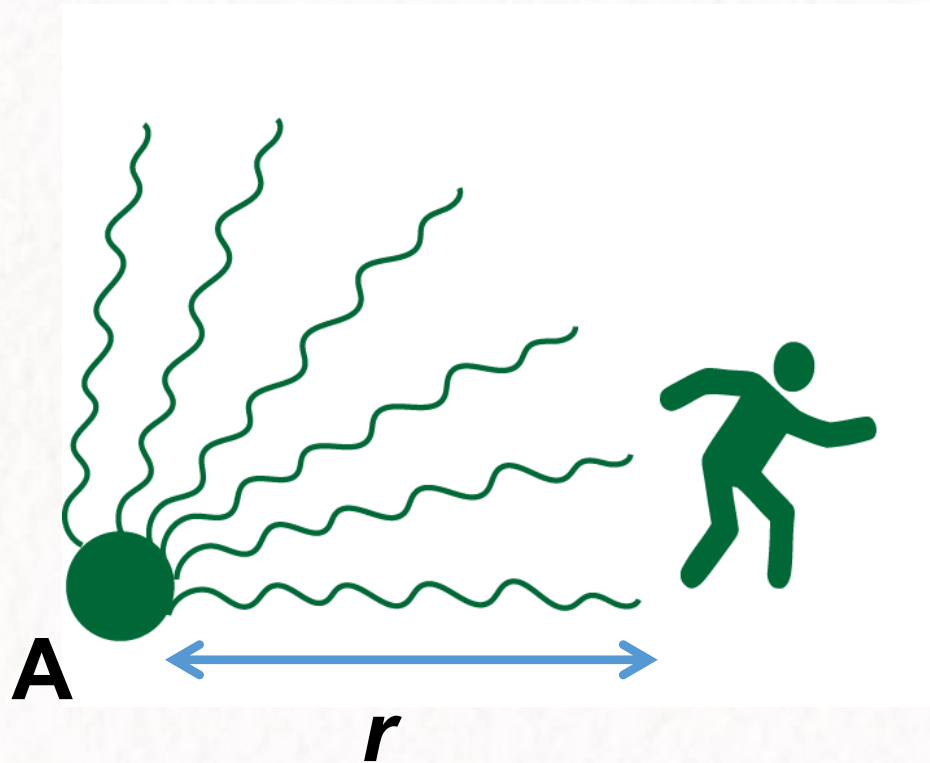
N : jumlah orang yang mungkin terkena efek stokastik

f : faktor Risiko

w_t : faktor bobot organ

S_E : dosis kolektif

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)

Laju Dosis (Gamma)

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

Laju dosis (Neutron)

$$\dot{H} = \frac{\phi}{f}$$

Perhitungan dosis neutron berdasarkan pada:

- **Tampang lintang**
- **fraksi penyerahan energi neutron**

- **$\dot{H}$: Laju dosis ekuivalen ($\mu\text{Sv/jam}$)**
- **ϕ : Fluks neutron ($\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$)**
- **f : faktor konversi ($\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1}/ \mu\text{Sv.jam}^{-1}$)**

Laju dosis (Neutron)

Faktor Konversi Fluks Neutron

Energi neutron (MeV)	Faktor Konversi (f)
	$(\text{cm}^{-2}.\text{s}^{-1})/(\mu\text{Sv.jam}^{-1})$
$2,5 \times 10^{-8}$ (termal)	26
1×10^{-7}	24
1×10^{-6}	22
1×10^{-5}	23
1×10^{-4}	24
1×10^{-3}	27
1	0,85
2	0,70
5	0,68
10	0,68
20	0,65

Sumber : Akhadi, Dasar proteksi Radiasi, Juni 2000.

RANGKUMAN

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

Waktu peluruhan

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

Besaran

Satuan

Dosis serap

D_T

gray (Gy)

w_R

Faktor bobot
radiasi - w_R

**Dosis
ekivalen**

H_T

sievert (Sv)

Semua bagian tubuh
diiradiasi seragam

$w_T = 1$

w_{T1}

w_{T2}

w_{Tn}

Faktor bobot
organ - w_T

Dosis Efektif

E

Dosis seluruh tubuh untuk semua jaringan

$= E$

atau

Dosis organ untuk jaringan T1

Dosis organ untuk jaringan T2

$= E$

Dosis organ untuk jaringan Tn

sievert (Sv)

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