

# Efek Radiasi pada Manusia

**dr.Srigading Dwi Lestari**

**Pelatihan Penyegaran Proteksi Radiasi dan Pengenalan 3S (*Safety, Security, Safeguard*)**

**20-23 Juli 2026**



# BIODATA PENGAJAR



**dr. Srigading Dwi Lestari**  
**198610152014032001**  
**[srig001@brin.go.id](mailto:srig001@brin.go.id)**  
**085601300459**

**Dokter Ahli Muda**

**Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi**

***Pengalaman Pelatihan:***

***Pelatihan Proteksi Radiasi***

***Pelatihan Hiperkes dan Keselamatan Kerja bagi Dokter***

***Training Course on Radiological Emergency Preparedness and Response***

**Pengalaman Mengajar:**

**Pelatihan Proteksi Radiasi dan 3S, 2025**

**Pelatihan Pertolongan Pertama Gawat Darurat, 2025**

**Pelatihan Follow-Up Training Course (FTC) on Nuclear Radiological and Emergency Preparedness (NREP), 2024-2025**

**Pelatihan Penyegaran Proteksi dan 3S, 2024**

**Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi Instalasi Nuklir (PPR IN), 2023**

**Matkul K3 prodi elektromekanika PTNI, 2022-2024**

**Pelatihan Pekerja Irradiator, 2019-2021**

**BATAN Accelerator School, 2019**

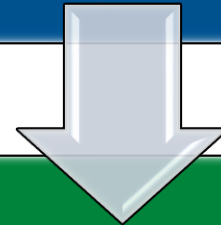
**Pelatihan Pengenalan Kedaruratan Radiologik untuk First Responder, 2019**

**Matkul Anfisman prodi Elektronika Instrumentasi STTN, 2018-2019**

# MANFAAT

---

**AWARE terhadap risiko  
paparan radiasi di  
lingkungan kerja**



**Bekerja selamat,  
sehat, produktif**

## Kompetensi Dasar

Pada akhir pembelajaran, peserta mampu menguraikan interaksi radiasi dengan materi biologi dan menjelaskan efek radiasi terhadap manusia



# TUJUAN PEMBELAJARAN (2)

## INDIKATOR KEBERHASILAN

Menyebutkan struktur sel manusia

Menyebutkan klasifikasi efek radiasi

Menyebutkan pengertian interaksi langsung dan tidak langsung

Menguraikan interaksi radiasi dengan air dan materi biologi



# TUJUAN PEMBELAJARAN (3)

## INDIKATOR KEBERHASILAN

Menjelaskan efek stokastik dan deterministik

Menyebutkan contoh efek deterministik terhadap jaringan dan organ tubuh

Menjelaskan efek radiasi terhadap janin

Menjelaskan sindroma radiasi akut



# POKOK BAHASAN

Sel Sebagai Unit Fungsional Terkecil

Interaksi Radiasi Terhadap Materi Biologi

*Molekul air*

*DNA*

*Kromoso  
m*

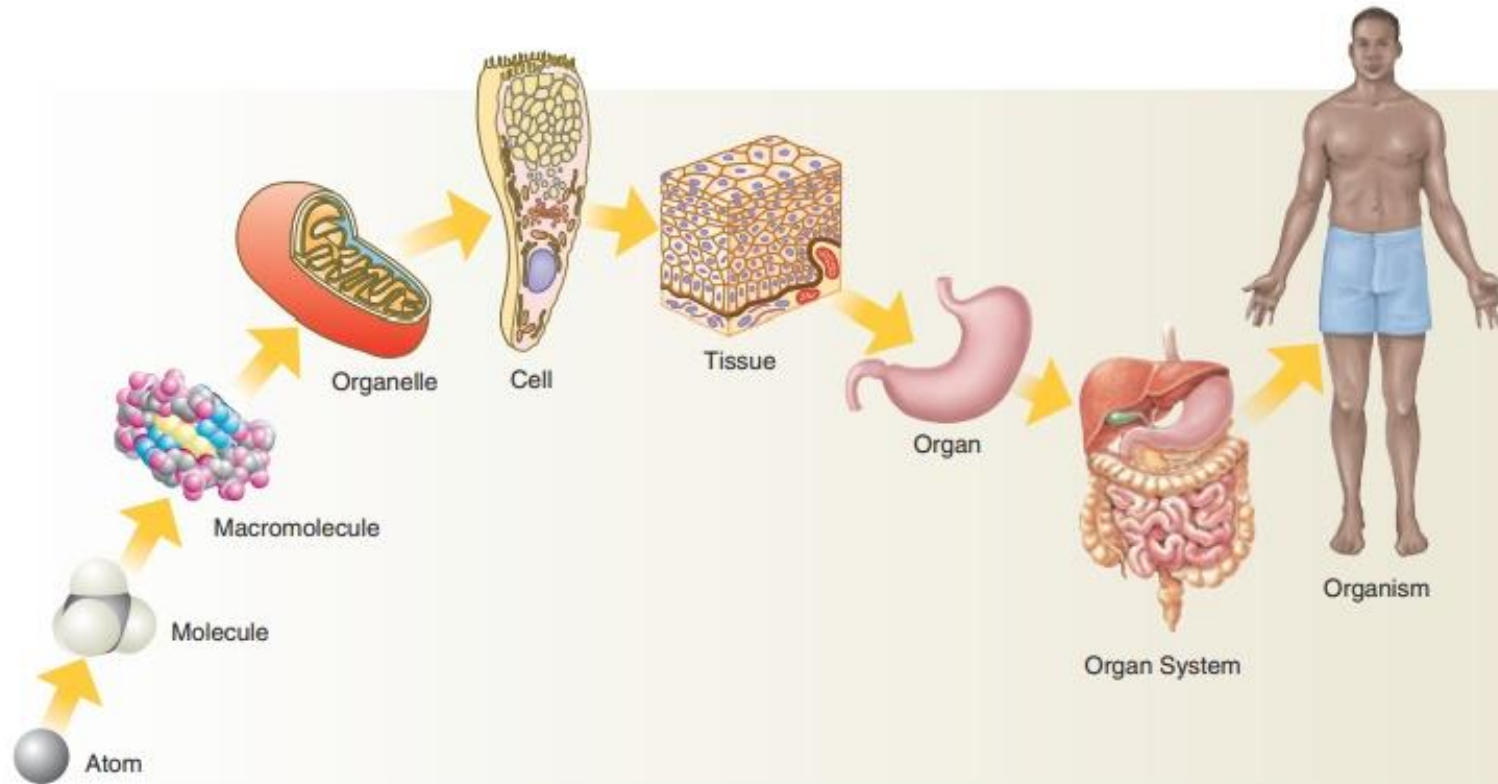
*Sel*

Efek Biologi Radiasi Terhadap Tubuh Manusia

*Stokastik*

*Deterministik*

# SEL SEBAGAI UNIT FUNGSIONAL TERKECIL (1 dari 3)



**FIGURE 1-1** Organization levels of the body.

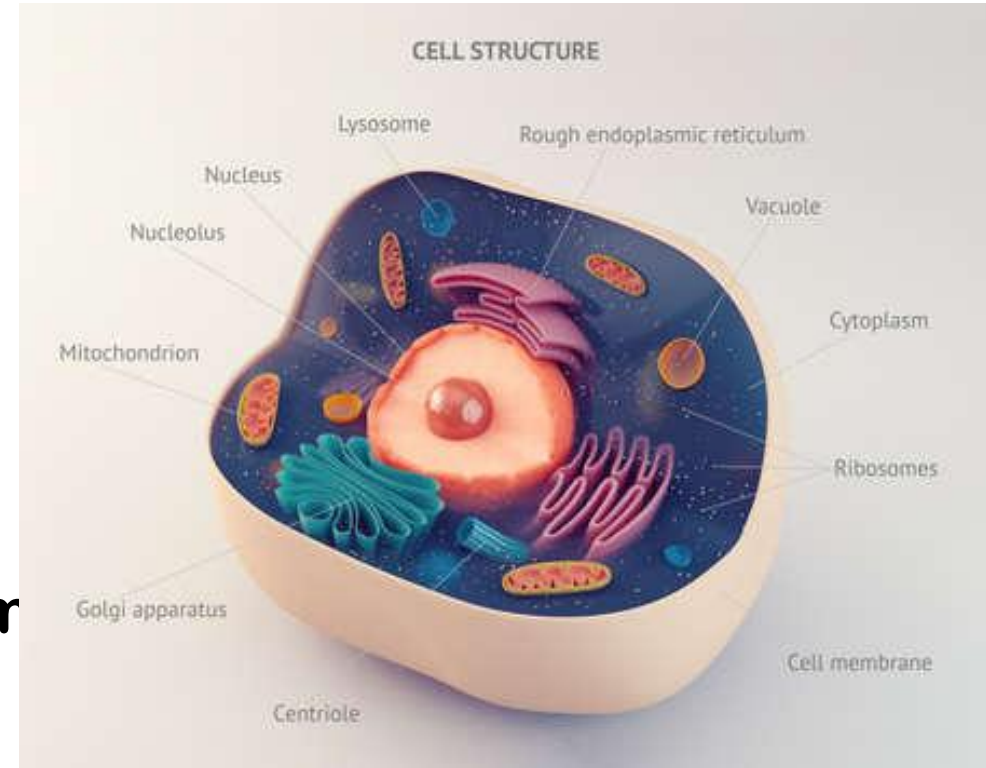
Adapted from Shier, D.N., Butler, J.L., and Lewis, R. Hole's Essentials of Human Anatomy & Physiology, Tenth edition. McGraw Hill Higher Education, 2009.

## SEL SEBAGAI UNIT FUNGSIONAL TERKECIL (2 dari 3)

**Sel** secara anatomi:

- **Selaput/Membran Plasma**: transportasi zat
- **Sitoplasma** : bagian cair, sebagai pelarut
- **Organel** sel : bagian solid, menjalankan fungsi kehidupan
- **Inti Sel (Nukleus)**: mengatur semua aktivitas sel

**Kromosom** berisi **DNA**



# SEL SEBAGAI UNIT FUNGSIONAL TERKECIL (end)

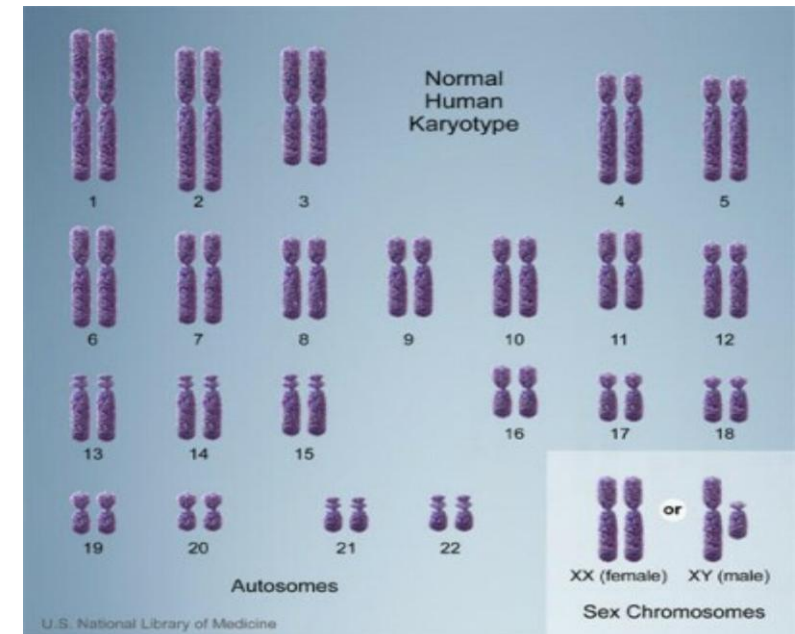
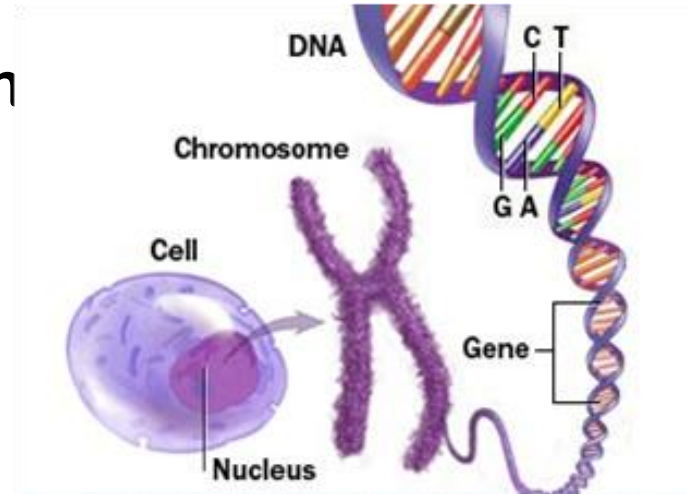
**Kromosom** → Tempat penyimpanan informasi genetik

23 pasang : 44 autosom , 2 sex

**DNA** → Sepasang rantai panjang polinukleotida berbentuk spiral ganda dihubungkan dengan ikatan hidrogen.

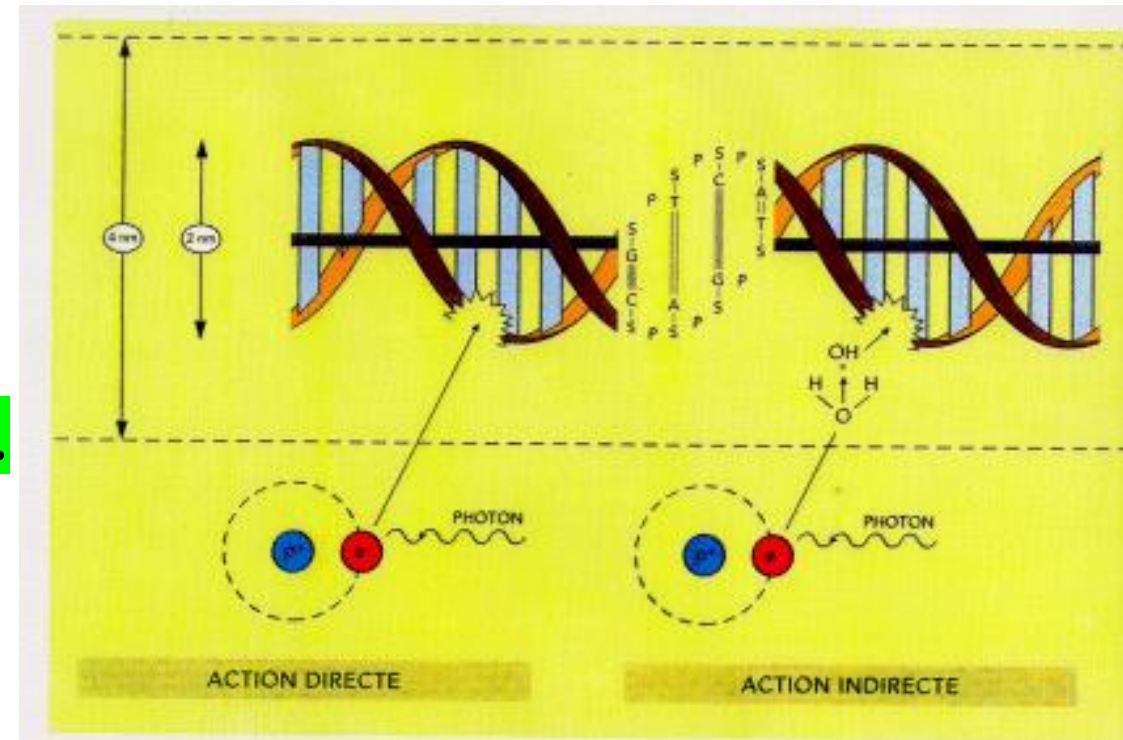
1 nukleotida → molekul gula deoksiribosa + basa + gugus fosfat.

→ materi genetik pembawa informasi yang diturunkan dan sintesis protein.



# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

- Paparan **radiasi** → **ionisasi**  
(proses fisika)  
→ menghasilkan **elektron**
- Elektron berinteraksi secara  
**langsung** maupun **tidak langsung**.



# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Interaksi Radiasi dengan Molekul Air)

---

Skema radiolisis air

spontan :  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$

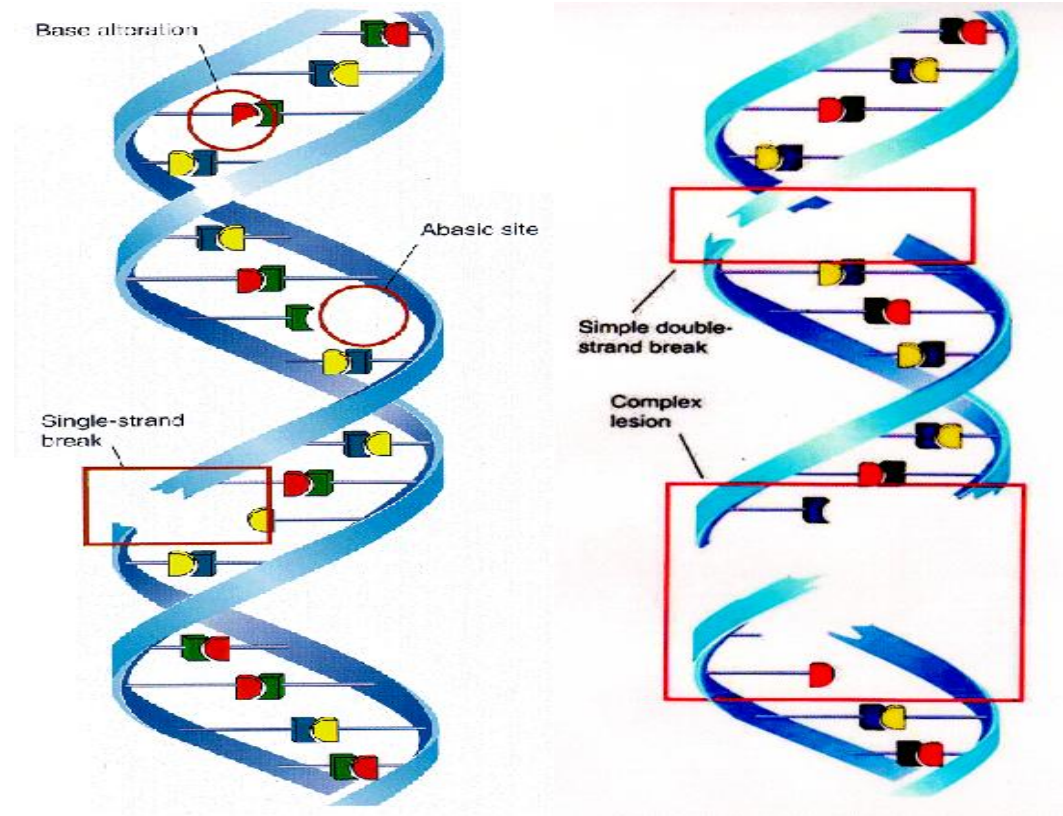
radiasi :  $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{H}_2\text{O}^+ + \text{e}^-$   
ion radikal ( $10^{-10}$  detik)

$\text{H}_2\text{O}^+ \Rightarrow \text{H}^+ + \cdot\text{OH}$   
radikal bebas ( $10^{-5}$  detik)

$\text{e}^- + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^\cdot$

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI (Efek Radiasi pada DNA)

- **Single strand break**: putusnya salah satu untai DNA
- **Double strand break**: putusnya kedua untai DNA
- **Base damage**



# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Efek Radiasi pada DNA)

| KERUSAKAN           | KEMUNGKINAN YANG TERJADI                     |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Perubahan basa      | Perbaikan sempurna                           |
| Hilangnya basa      | Perbaikan sempurna                           |
| Single strand break | Perbaikan sempurna                           |
| Double strand break | Perbaikan sempurna<br>Mutasi<br>Kematian sel |
| Kerusakan parah     | Kematian sel                                 |

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Efek Radiasi pada Kromosom) 1 dari 2

Paparan radiasi menimbulkan perubahan **jumlah** ataupun **struktur** kromosom (*ABERASI KROMOSOM*)



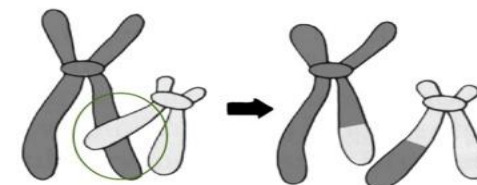
A



B

A. Normal B. Disentrik

Aberasi kromosom **disentrik** pada sel darah **limfosit** digunakan sebagai **dosimeter biologik**



Kromosom yang mengalami translokasi mengalami perpindahan fragmen.

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Efek Radiasi pada Kromosom) end

---

### DOSIMETER BIOLOGIK

- Dapat memperkirakan dosis yang diterima akibat paparan radiasi
- Aberasi kromosom bentuk disentrik pada sel limfosit
- Tidak stabil, jumlah semakin menurun

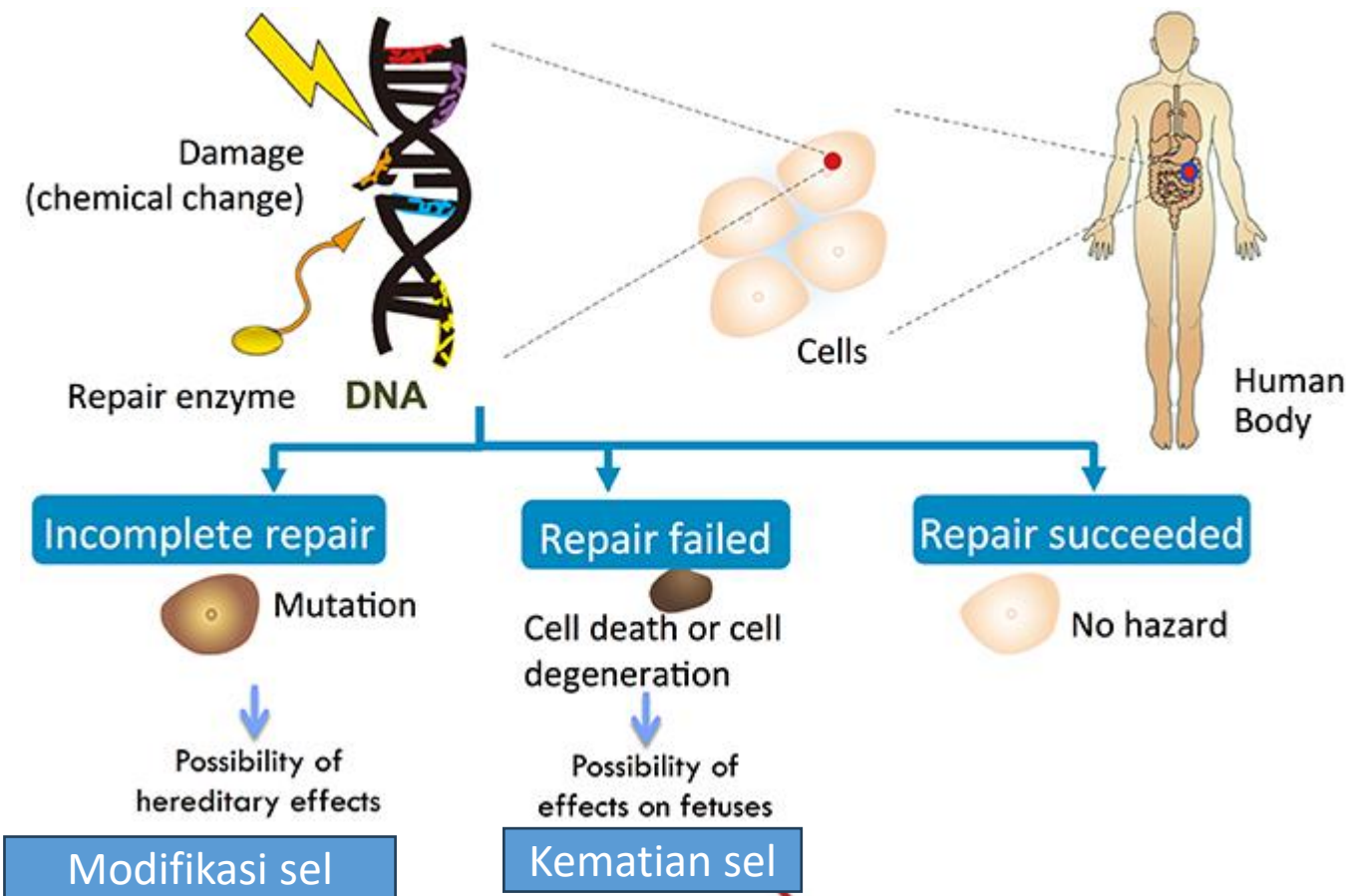
### ANALISIS

- Rentang dosis : 0,5 Gy-8 Gy
- Waktu analisis: 24 jam-30 hari post terpapar radiasi (terbatas oleh waktu)
- Jumlah aberasi sebanding dengan dosis

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Efek Radiasi pada Sel ) 1 dari 3

### Efek Radiasi terhadap Sel



## TEORI RADIOSENSITIVITAS SEL

Radiosensitivitas sel **sebanding** dengan **TINGKAT PROLIFERASI**,  
**berbanding terbalik** dengan **DERAJAT DIFERENSIASI**

Sensitivitas sel mempengaruhi sensitivitas organ dan jaringan.

# INTERAKSI RADIASI DENGAN MATERI BIOLOGI

## (Interaksi Radiasi dengan Sel) end

| LEVEL RADIOSENSITIVITAS | SEL                                |
|-------------------------|------------------------------------|
| Sangat tinggi           | Sel spermatogonia                  |
| Tinggi                  | Sel hematopoietik                  |
| Sedang                  | Sel endotel                        |
| Relatif rendah          | Sel hepar dan ginjal               |
| Rendah                  | Sel saraf, sel otot, sel eritrosit |

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

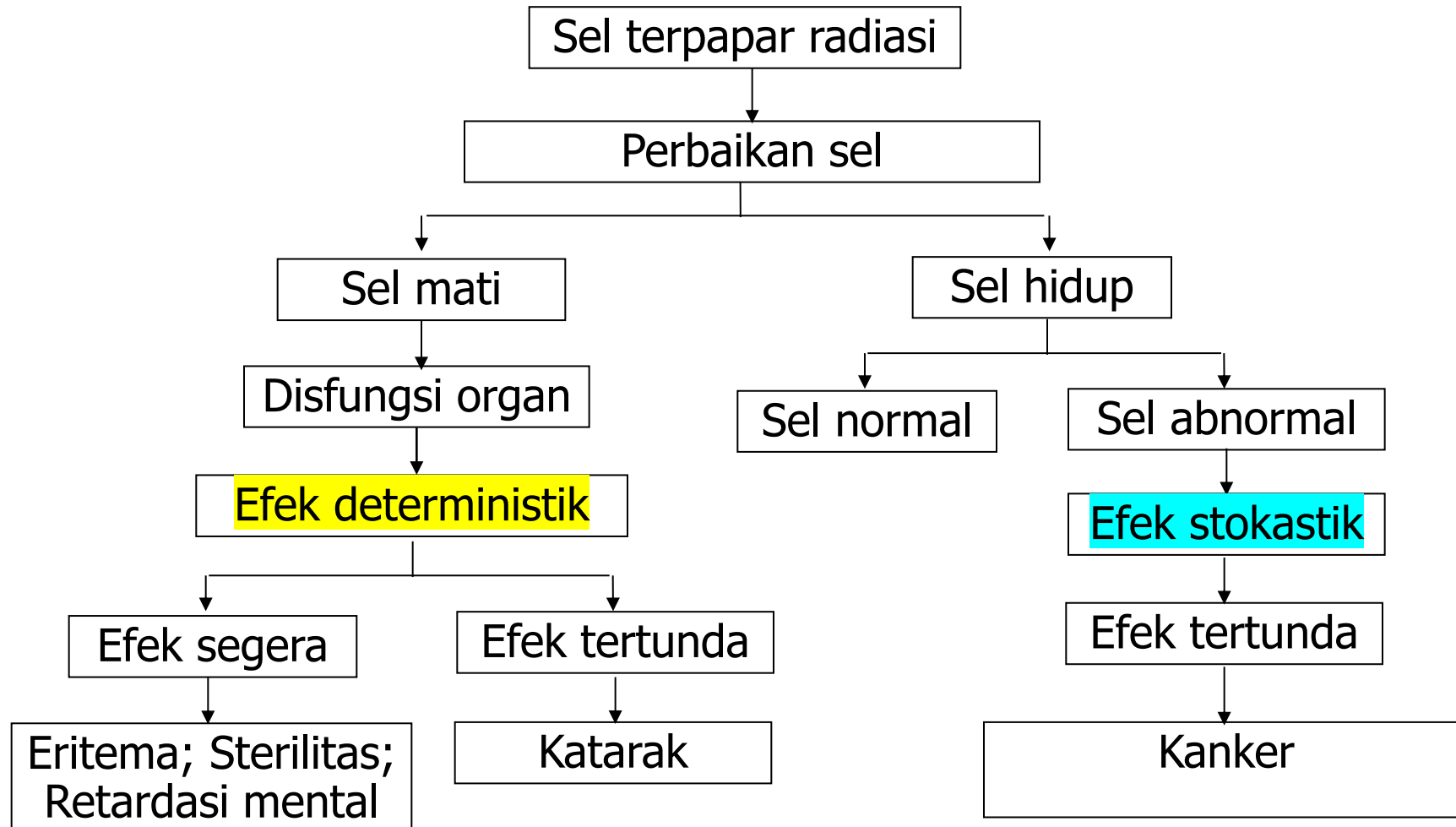
---

## Klasifikasi Efek Radiasi (1)

- Jenis sel target:  
genetik (pewarisan) dan  
somatik (segera & tertunda)
- Dosis ambang:  
stokastik & deterministik

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

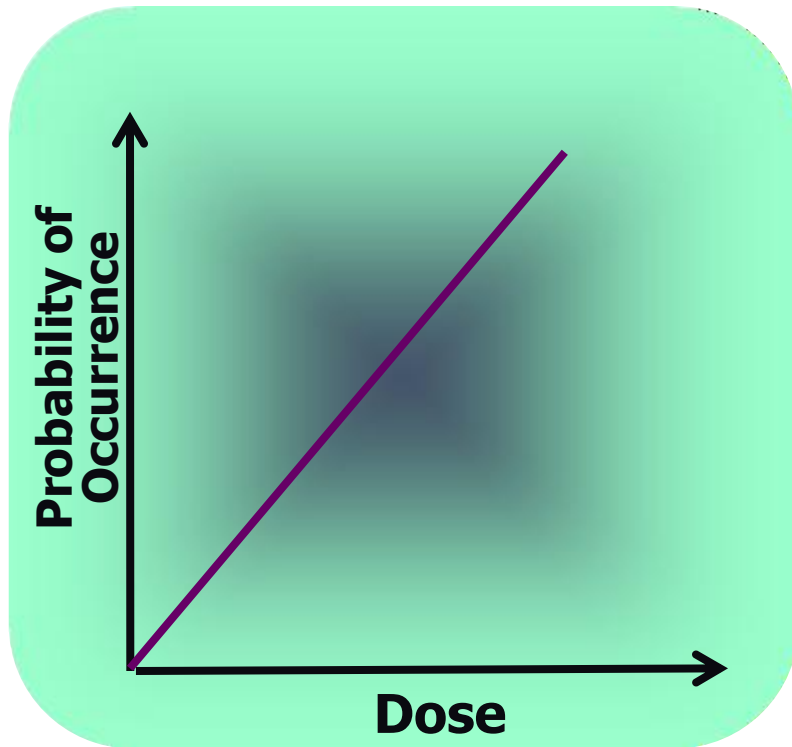
## Klasifikasi Efek Radiasi (2)



# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Stokastik) 1 dari 2

Efek stokastik dapat terjadi jika sel yang terkena paparan radiasi pengion mengalami **mutasi /modifikasi gen**



### Ciri-ciri efek stokastik:

- bersifat **random**
- **Tidak** memiliki **dosis ambang**
- **Probabilitas** kejadian bergantung dosis
- dapat terjadi pada **individu terpapar** dan **turunannya**

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA (Efek Stokastik) end

---

## Individu terpapar:

- Target : sel somatik -- karsinogenesis
- Kanker akibat radiasi tidak spesifik

## Turunan individu terpapar:

- Target : sel genetik -- efek pewarisan

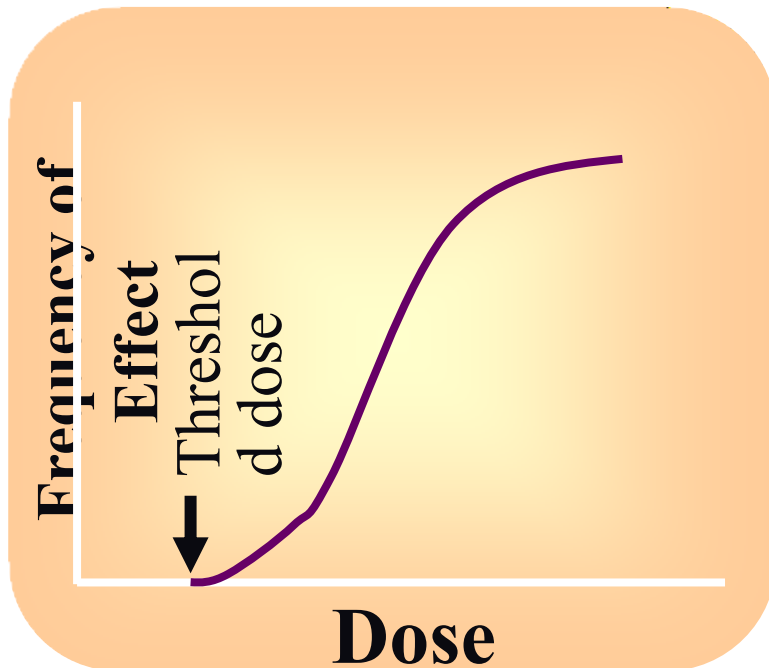
# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 1 dari 16

Efek deterministik terjadi karena adanya **kematian sel** sebagai akibat dari paparan radiasi baik pada sebagian atau seluruh tubuh

### Ciri-ciri efek deterministik:

- memiliki **dosis ambang**
- **tingkat keparahan** bergantung dosis
- terjadi hanya pada **individu terpapar**



# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 2 dari 16

### Efek Radiasi pada Kulit



#### Eritema

- 2 – 3 Gy
- 6 – 24 jam



#### Epilasi/ Deskuamasi kering

- 3 – 8 Gy
- 3 – 6 minggu



#### Deskuamasi basah

- 12 – 20 Gy
- 4 – 6 minggu



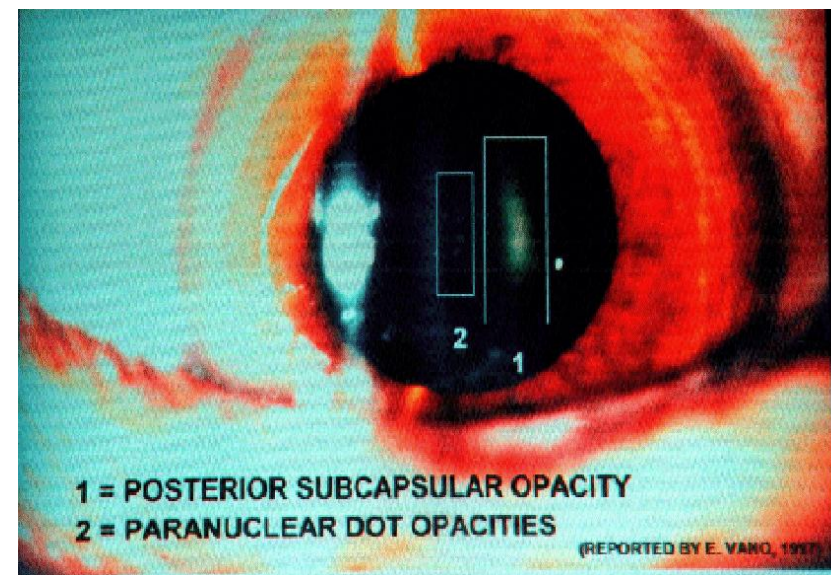
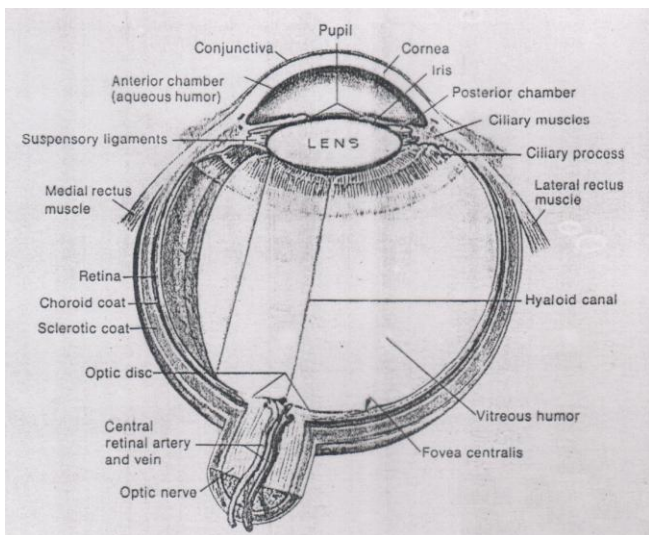
#### Nekrosis

- > 20 Gy
- 10 minggu

### Efek Radiasi pada Mata

Paling sensitif → lensa mata → katarak

- Dosis 0,5 Gy → kekeruhan lensa yang teramati
- Dosis 2–10 Gy → katarak dalam 6 bulan - 35 tahun
- Semakin tinggi dosis → semakin singkat masa laten



# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

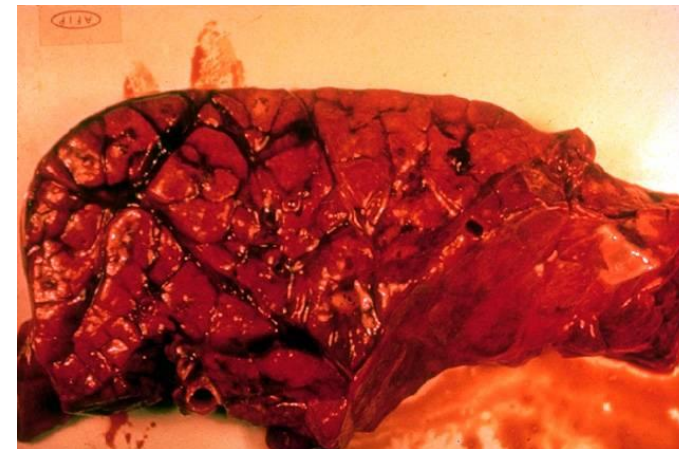
## (Efek Deterministik) 6 dari 16

### Efek Radiasi pada Paru-paru

Dosis ambang : 3 – 5 Gy

| Efek Radiasi       | Waktu         |
|--------------------|---------------|
| Pneumonitis        | 3 – 12 minggu |
| Pulmonary fibrosis | 6 bulan ~     |

Irradiated lung tissue



# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 7 dari 16

### Efek Radiasi pada Testis

| Efek Radiasi                | Rentang Dosis (Gy) |
|-----------------------------|--------------------|
| Oligosperma                 | 0,15               |
| Steril untuk beberapa bulan | < 1                |
| Steril untuk 1 -2 tahun     | 1 – 3              |
| Steril permanen             | 3,5 - 6            |

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 8 dari 16

### Efek Radiasi pada Ovarium

| Efek Radiasi                | Rentang Dosis (Gy) |
|-----------------------------|--------------------|
| Steril sementara            | 0,65               |
| Steril pada usia 40 tahunan | 5 – 7              |
| Steril pada usia 20 tahun   | 12 – 15            |

### Efek Radiasi pada Sistem Pembentukan Darah

Dosis ambang : 0,5 Gy

Efek radiasi pada sistem pembentukan darah berupa penurunan segera komponen darah

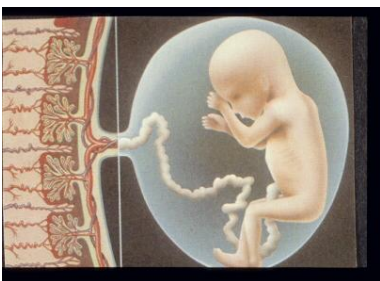
| Jenis Sel Darah | Fungsi                                       | Waktu                  |
|-----------------|----------------------------------------------|------------------------|
| Eritrosit       | Transport O <sub>2</sub> dan CO <sub>2</sub> | Beberapa minggu        |
| Leukosit        |                                              |                        |
| • Limfosit      | Sistem kekebalan tubuh                       | Beberapa jam           |
| • Granulosit    | Sistem kekebalan tubuh                       | Beberapa hari – minggu |
| Trombosit       | Sistem pembekuan darah                       | Beberapa hari - minggu |

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 10 dari 16

### Efek Radiasi pada Janin (1)

Dosis ambang : 0,05 – 0,1 Gy



| Perkembangan Janin | Usia Kehamilan (minggu) | Efek Radiasi                           |
|--------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| Pre-implantasi     | 0 – 2                   | Kematian                               |
| Organogenesis      | 2 – 7                   | Malformasi organ,<br>kematian neonatal |
| Fetus              | 8 - 25                  | Retardasi mental                       |

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

## (Efek Deterministik) 11 dari 16

### Efek Radiasi pada Janin (2)

Tabel hubungan antara usia kehamilan dengan dosis ambang yang dapat menyebabkan retardasi mental

| <b>Usia Kehamilan<br/>(minggu)</b> | <b>Dosis Ambang<br/>(Gy)</b> |
|------------------------------------|------------------------------|
| 8 – 15                             | 0,1                          |
| 16 - 25                            | 0,4 – 0,6                    |

## SINDROM RADIASI AKUT

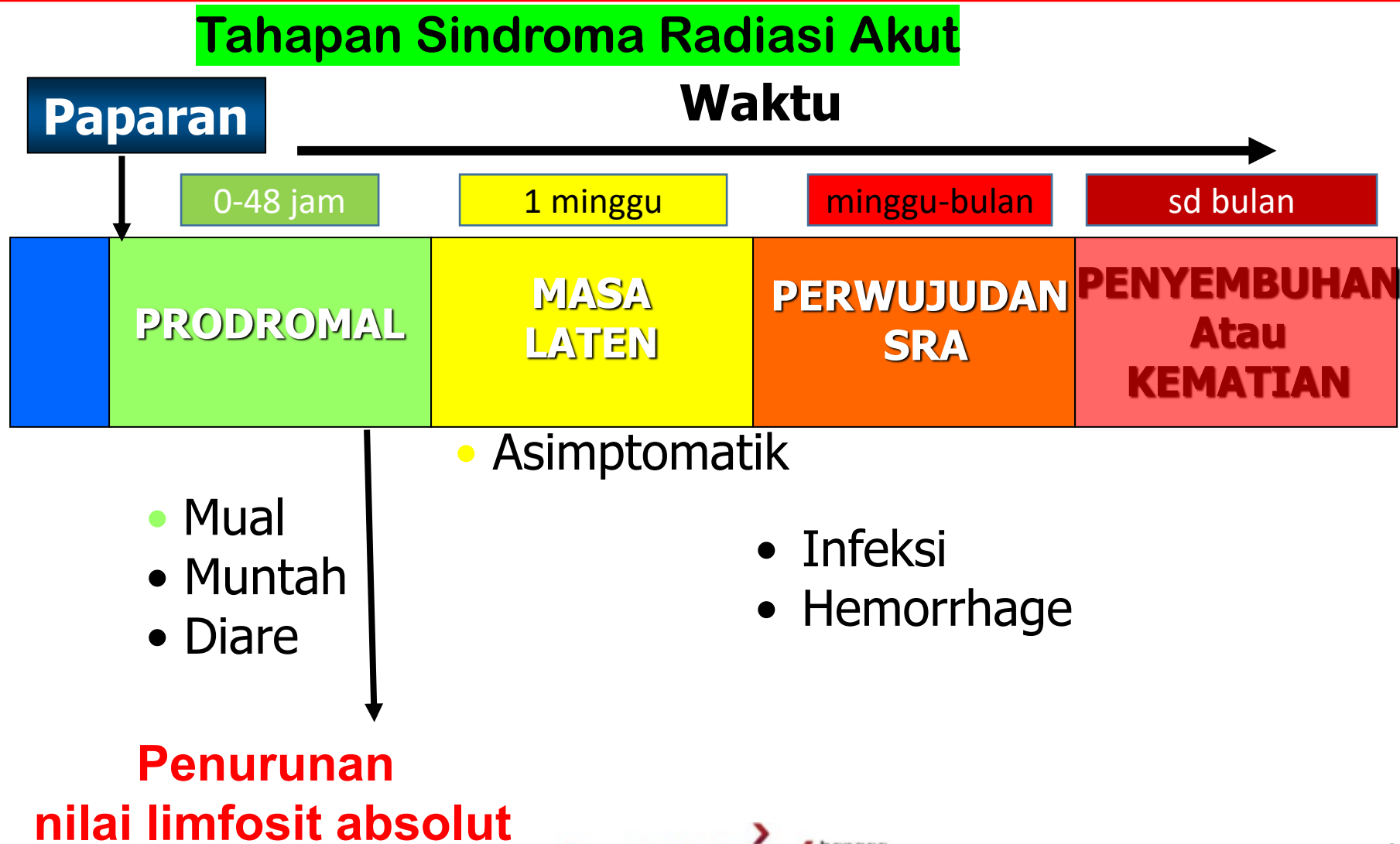
Sekumpulan sindrom yang timbul akibat paparan radiasi **dosis tinggi**, lebih besar dari 1 Gy, pada **seluruh tubuh** secara akut dalam **waktu yang singkat**

Tahapan Sindroma Radiasi Akut:

- **Prodromal**, timbulnya simptom awal segera pasca paparan
- **Masa laten**, masa dimana tidak timbul simptom
- **Perwujudan** SRA, timbulnya sindrom pada sistem hematopoitik, pencernaan, dan sistem syaraf pusat
- Masa **penyembuhan atau kematian**

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

(Efek Deterministik) 13 dari 16



# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA

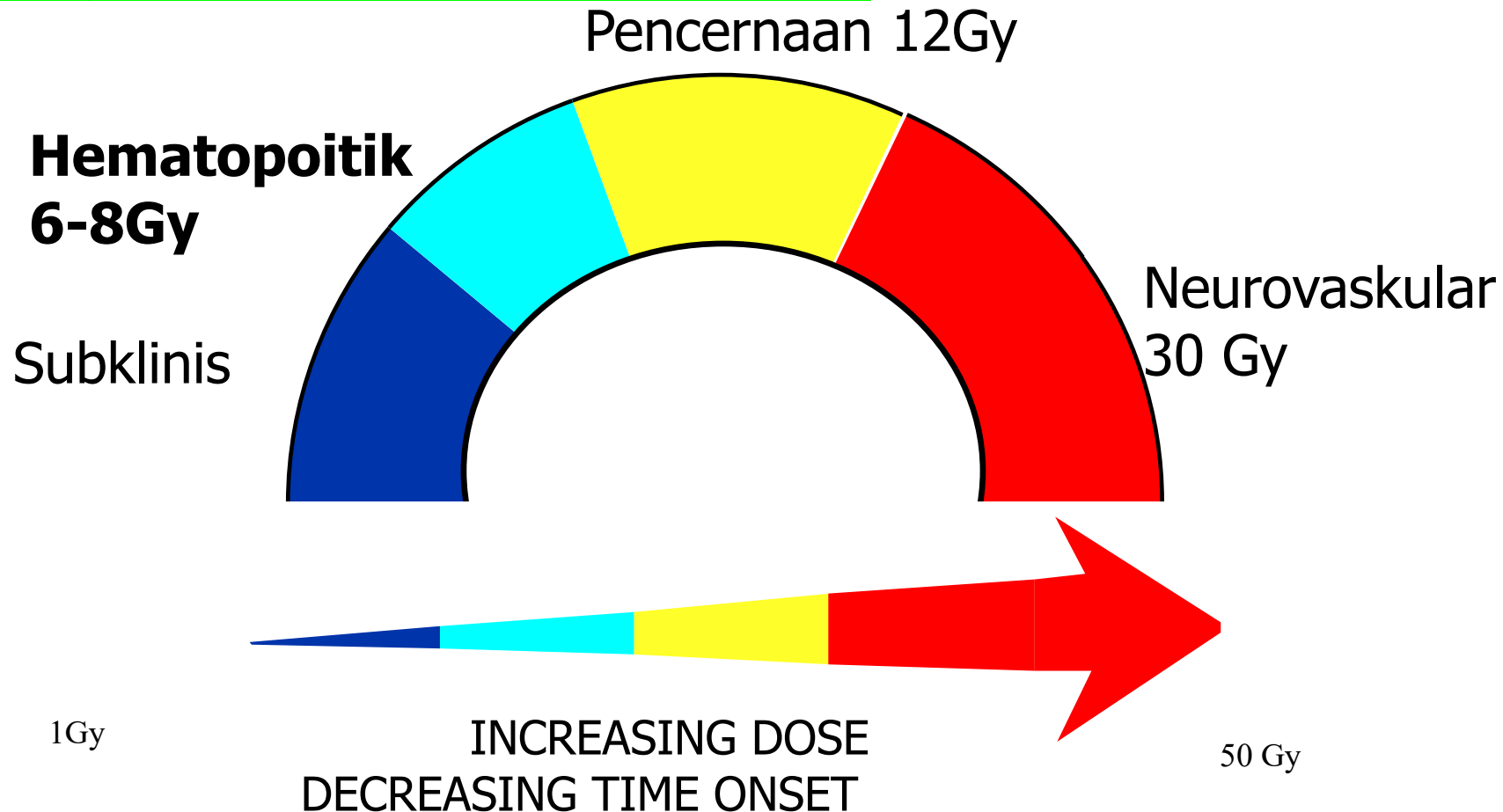
## (Efek Deterministik) 14 dari 16

### Prognosis berdasarkan limfosit absolut

| Limfosit absolut (/ $\mu$ L) | Perkiraan dosis (Gy) | Derajat SRA  | Prognosis                              |
|------------------------------|----------------------|--------------|----------------------------------------|
| 1000-3000<br>Normal          | 0-0.4                | No damage    | Sembuh sempurna                        |
| 700-1000                     | 0.5-1.9              | Ringan       | Sembuh                                 |
| 400-700                      | 2.0-3.9              | Sedang       | Mungkin sembuh                         |
| 100-400                      | 4.0-7.9              | Berat        | Mungkin sembuh dengan perawatan khusus |
| <100                         | $\geq 8.0$           | Sangat berat | Sangat sulit sembuh                    |

# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA (Efek Deterministik) 15 dari 16

## Perwujudan Sindroma Radiasi Akut





# EFEK BIOLOGI RADIASI TERHADAP TUBUH MANUSIA (Efek Deterministik) end

---

## MEAN LETHAL DOSE

Dosis radiasi akut yang menyebabkan **kematian** pada suatu populasi dewasa sehat yang terpapar seluruh tubuh, dalam rentang waktu tertentu

LD **50/60** : kematian **50%** populasi dalam **60 hari**

Rentang Dosis : 2,5 – 5 Gy

Dosis rerata : 3,5 Gy

LD **100/60** → 7-10 Gy

# RANGKUMAN (1)

---

1. Struktur **SEL** manusia ?
2. **Cara interaksi radiasi** dengan materi biologik ?
3. **Interaksi radiasi** dengan air, kromosom, DNA, sel ?
4. **Klasifikasi efek radiasi**?
5. Ciri **efek stokastik** ?

# RANGKUMAN (2)

---

6. Ciri **Efek deterministik ?**

7. Efek **radiasi pada janin ?**

8. **Definisi Sindrom Radiasi Akut?**

9. **Tahapan SRA?**

---

# TERIMA KASIH

[srig001@brin.go.id](mailto:srig001@brin.go.id)

085601300459