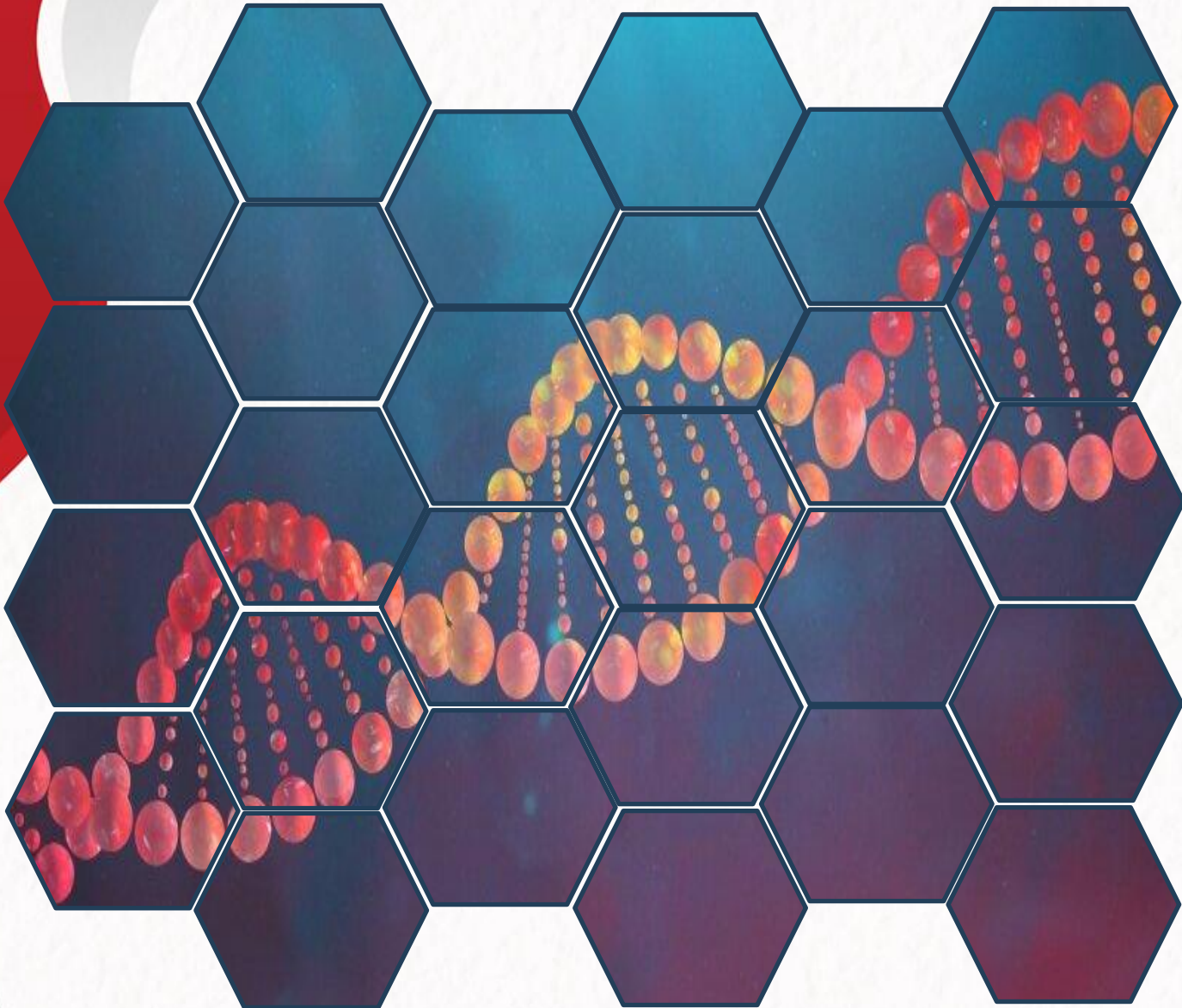




EFEK BIOLOGI RADIASI

Rizka Indra Prasetya, M.Sc

Pelatihan Petugas Iradiator
01 s.d 15 September 2025

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN - 2025

Radiasi Pengion

- Pancaran Energi (EM /Partikel)
- Mengionisasi atom/molekul
- Perubahan kimia (jaringan biologis)



Bermanfaat



Efek Samping

Efek Radiasi



Outline Materi



Struktur Tubuh
Manusia



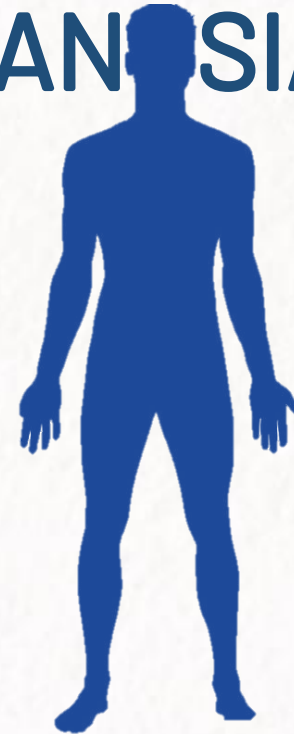
Efek Radiasi pada
Tingkat Molekul/ Sel



Efek Radiasi pada
Tubuh Manusia

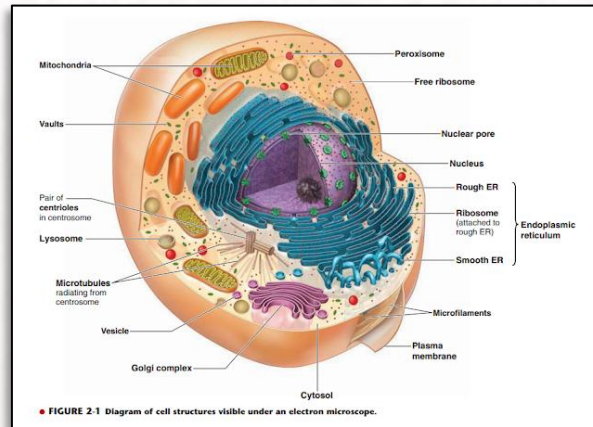


STRUKTUR TUBUH MANUSIA

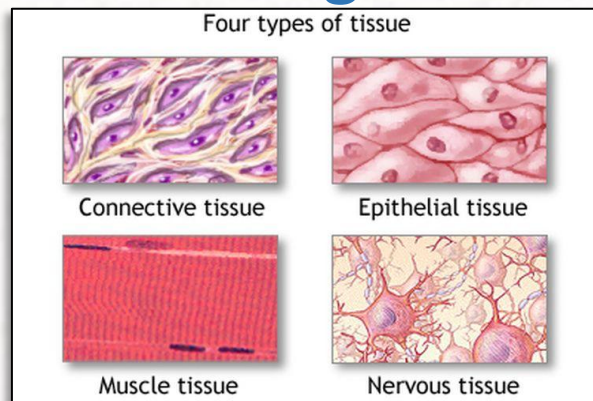


STRUKTUR TUBUH MANUSIA

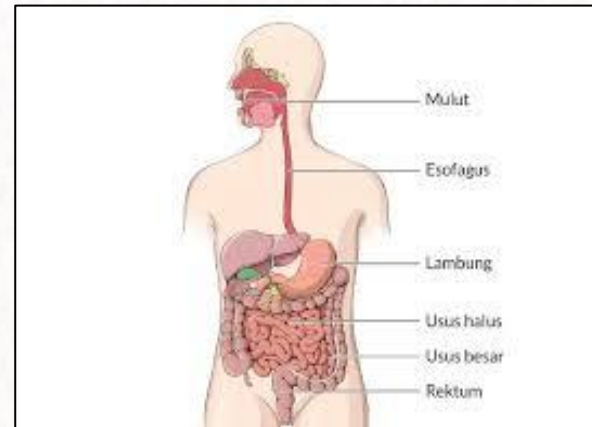
Sel (*DNA – Informasi Genetik*)



Jaringan



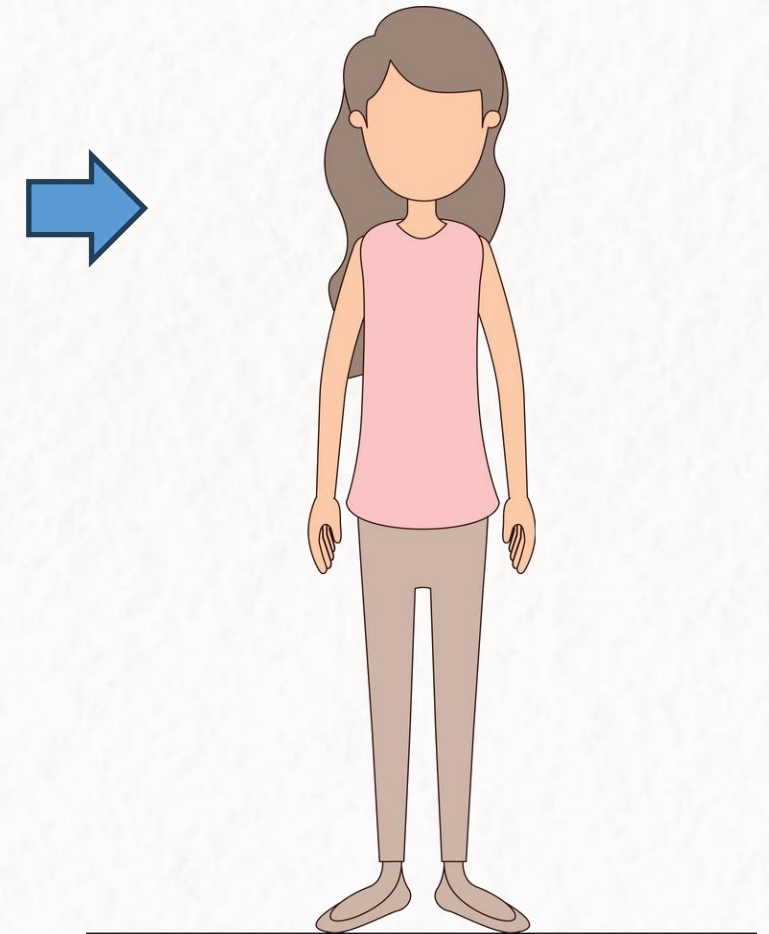
Sistem Organ



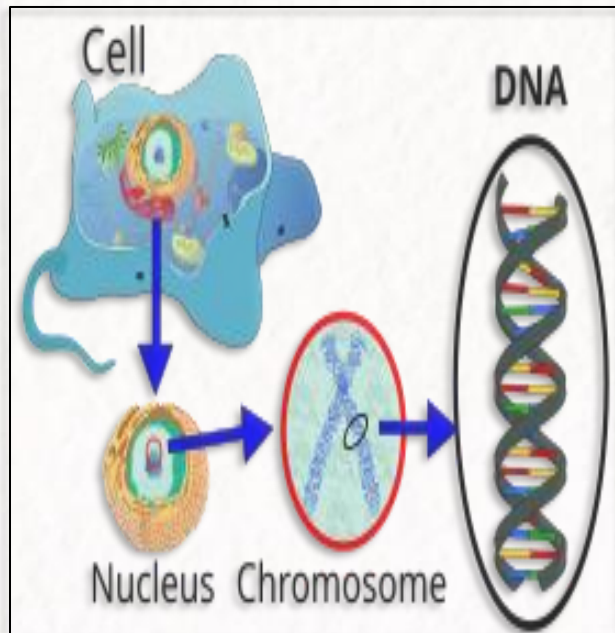
Organ



Tubuh Manusia



Sel - Kromosom - DNA



Selaput

- Transportasi zat

Sitoplasma

- Bagian yang cair, tempat organel dan sebagai pelarut

Organel Sel

- Bagian padat, ribosom, mitokondria

Inti sel (Nucleus)

- Mengatur aktivitas sel. Berisi kromosom

Kromosom

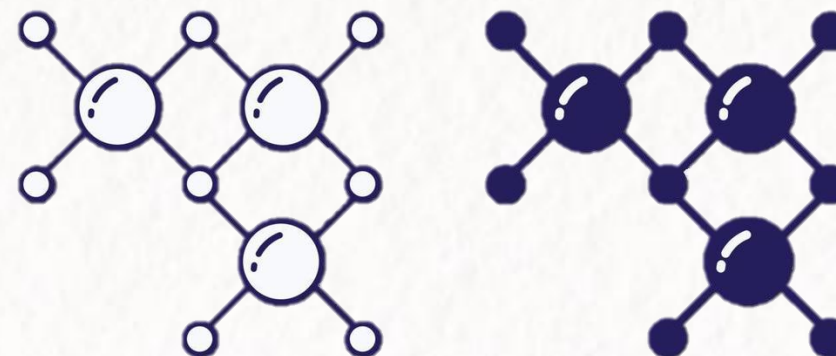
- 23 pasang, 22 psg autosom, 1 psg kromosom sex
- Tempat penyimpanan informasi genetik
- Berisi DNA

DNA

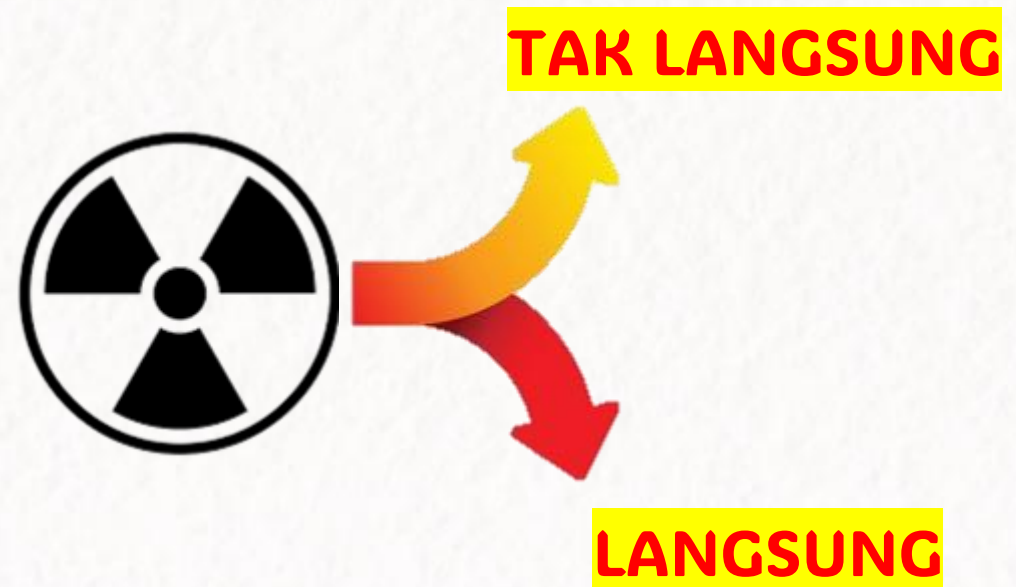
- Rantai panjang polinukleotida berbentuk spiral ganda. Materi genetic berisi informasi genetik

2

EFEK RADIASI PADA TINGKAT MOLEKUL DAN SEL

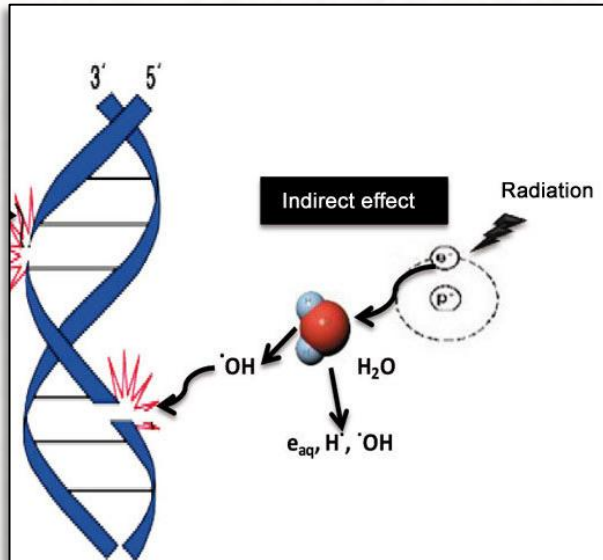


Interaksi Radiasi terhadap Tubuh Manusia

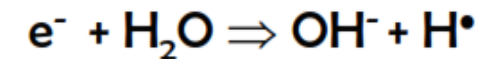
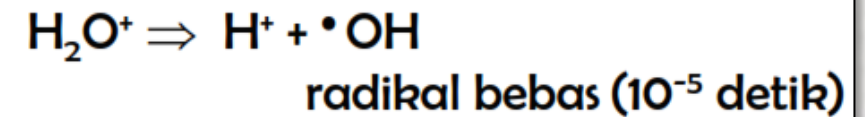
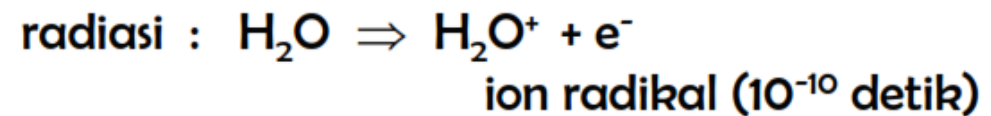
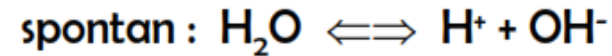


Interaksi Radiasi dengan Air

Tidak Langsung



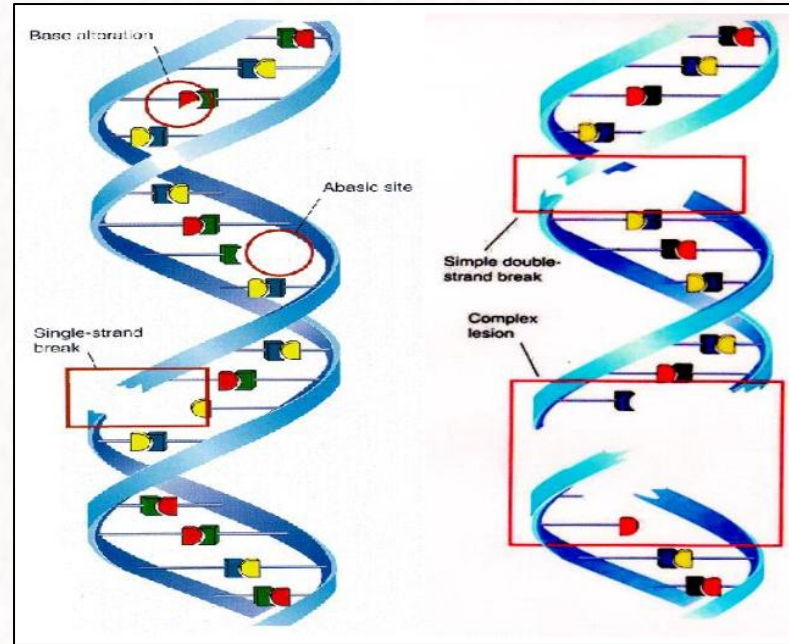
Skema radiolisis air



- ✓ **Probabilitas lebih tinggi** karena 70-80% sel tubuh adalah air
- ✓ Spontan : Air terurai menjadi ion, dengan jumlah terbatas
- ✓ Radiasi : Terbentuk ion radikal (sangat reaktif) -> Radikal bebas (hidroxyl); elektron bebas -> Radikal bebas (hidrogen)
- ✓ Radikal bebas bisa merusak sel tubuh/ DNA

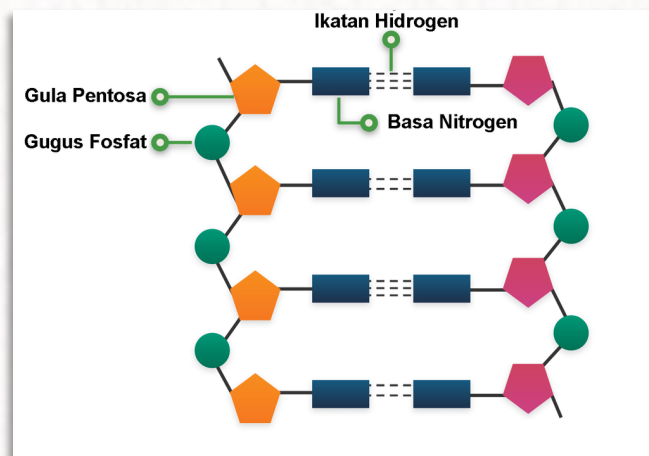
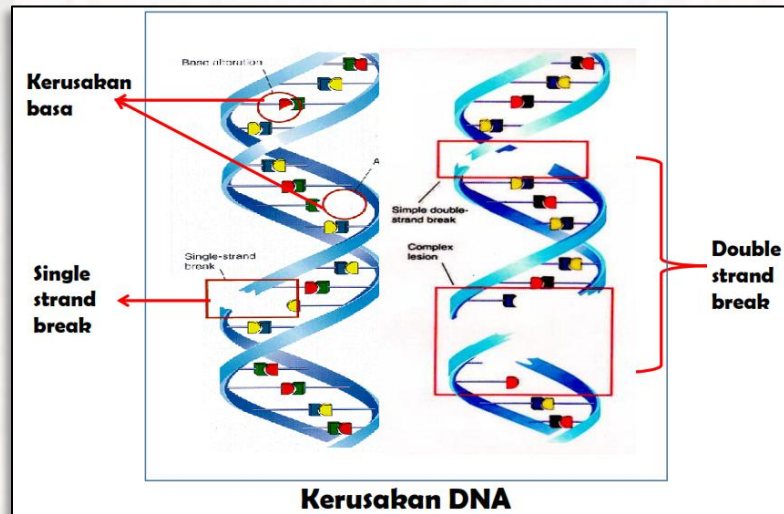
Interaksi Radiasi dengan DNA

Langsung



- ✓ **Single strand break**, putusnya salah satu untai DNA
- ✓ **Double strand break**, putusnya kedua untai DNA
- ✓ **Base damage (Basa nitrogen)**
- ✓ Probabilitas kecil, karena DNA hanya 1% dari volume sel

EFEK RADIASI TERHADAP DNA



Perubahan molekul basa

Hilangnya basa

Putusnya ikatan hidrogen

Single strand break

Double Strand break

Kerusakan

Perubahan molekul basa

Hilangnya basa

Single strand break

Double Strand break

Kerusakan Parah



Kemungkinan yang terjadi

Perbaikan sempurna

Perbaikan sempurna

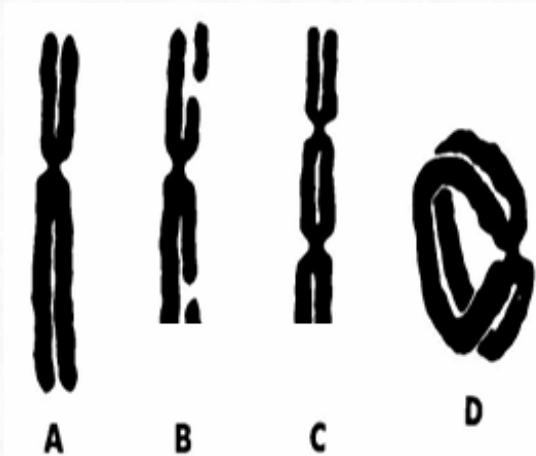
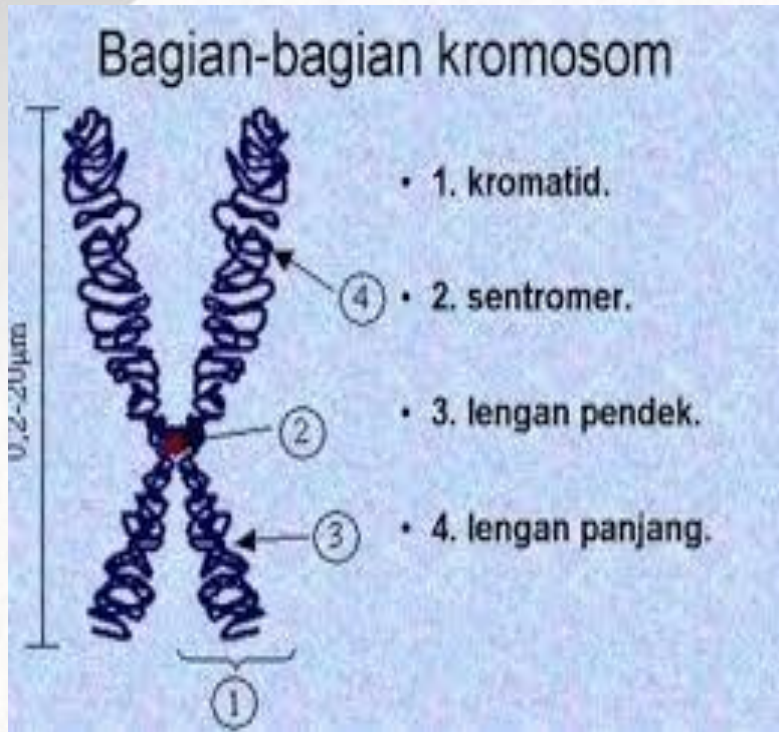
Perbaikan sempurna

Perbaikan sempurna/ mutasi/kematian sel

Kematian sel

EFEK RADIASI TERHADAP KROMOSOM

Paparan radiasi menimbulkan perubahan **JUMLAH** atau **STRUKTUR** kromosom (**ABERASI KROMOSOM**)



A. Normal

B. Patah lengan

C. Disentrik

D. Cincin

Radiasi

Kromosom

Perubahan
Jumlah
dan/atau
struktur

ABERASI
KROMOSOM

DISENTRIK

DOSIMETER
BIOLOGI

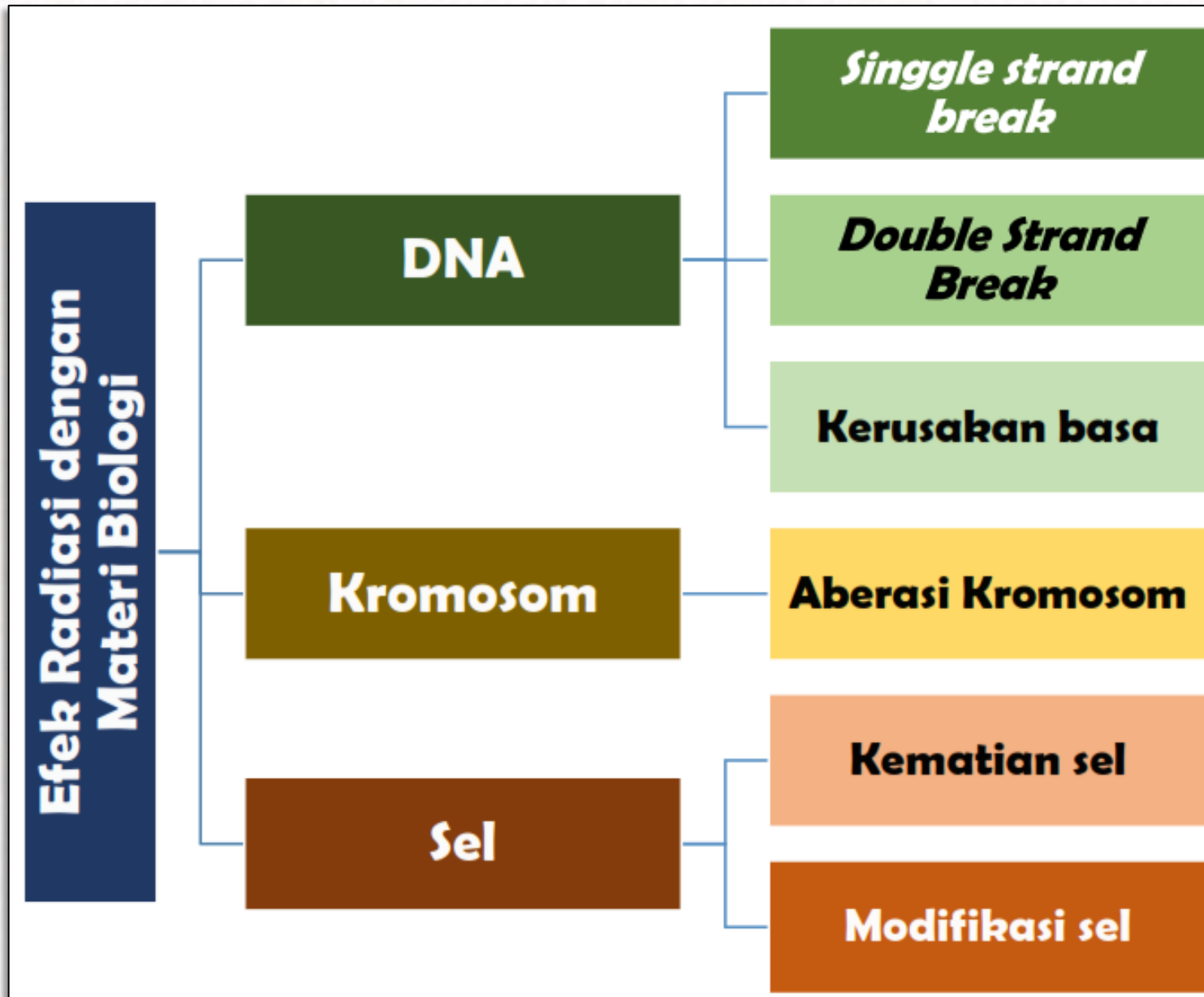
SEL
LIMFOSIT

Interaksi Radiasi dengan Kromosom

Dosimeter Biologi

Aberasi Kromosom & Dosimeter Biologi

- ✓ Digunakan secara luas sebagai biomarker akibat paparan radiasi berlebih
- ✓ Rentang dosis optimal: 0,2 Gy – 5 Gy
- ✓ Frekuensi disentrik menurun dengan bertambahnya waktu (tidak stabil)
- ✓ Analisa dilakukan dalam waktu 24 jam -30 hari paska paparan radiasi



3

EFEK RADIASI PADA TUBUH MANUSI

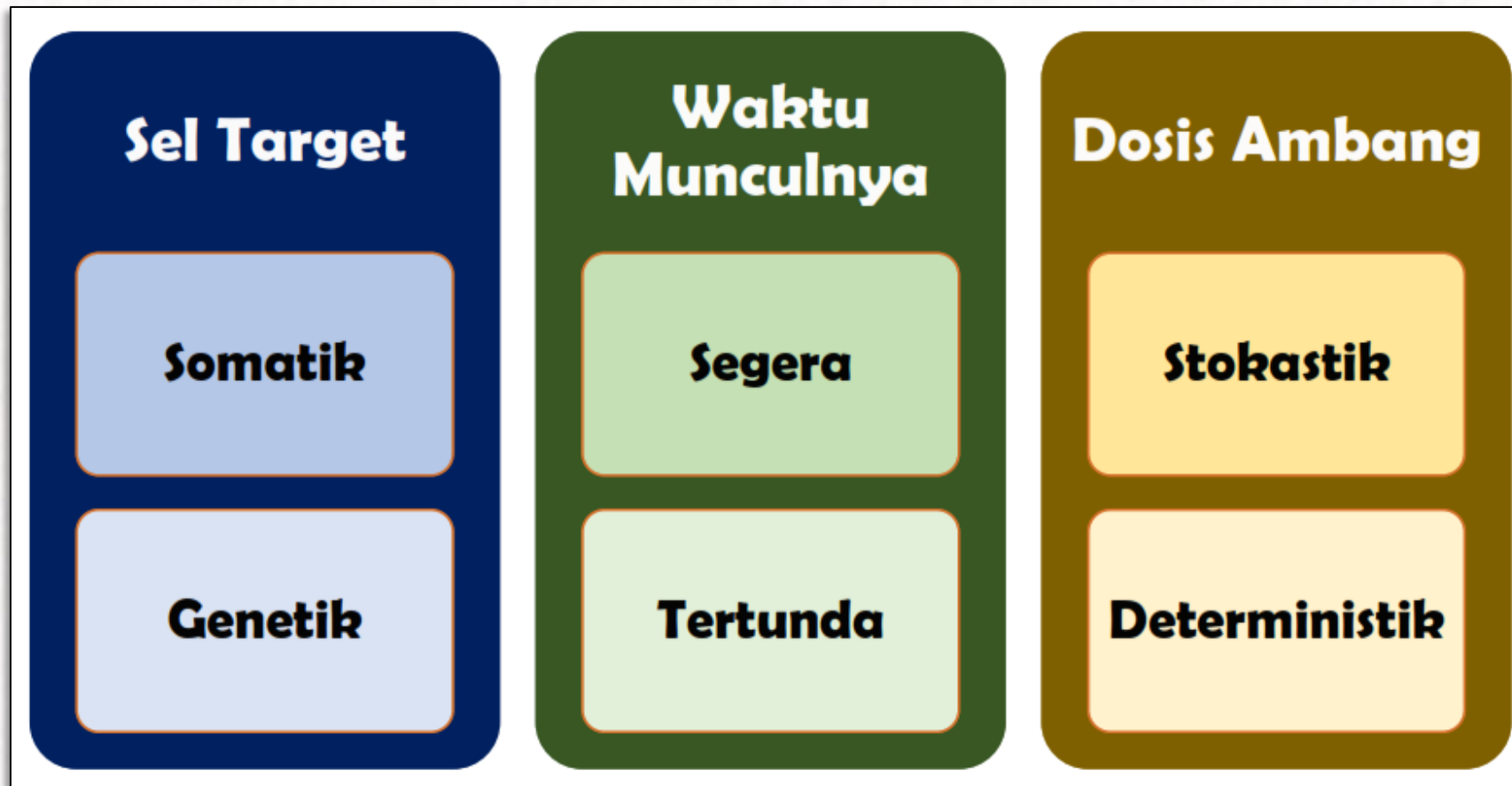
Tingkat **proliferasi** (pembelahan sel) semakin tinggi, sensitivitas sel semakin tinggi

Tingkat **diferensiasi** (kematangan sel) semakin tinggi, sensitivitas sel semakin rendah

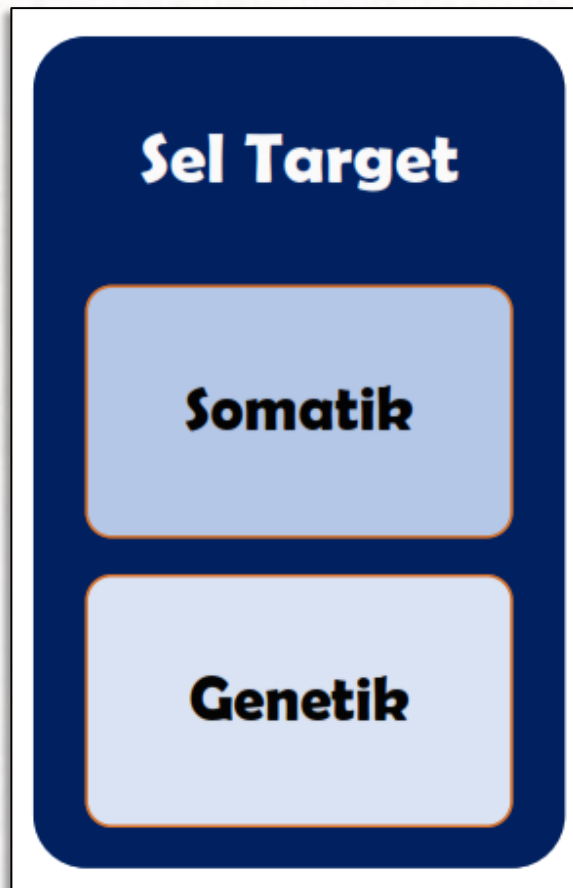
(Rubin, P. and Casarett. G. W.: Clinical Radiation Pathology (Philadelphia: W. B. Saunders. 1968))

Level Radiosensitivitas	Contoh Sel
Sangat Tinggi	Sel spermatogonia
Tinggi	Sel Hematopoetik (stem cell)
Sedang	Sel endotel (lapisan pembuluh darah)
Relatif Rendah	Sel Hepar dan ginjal
Rendah	Sel saraf, sel otot, sel eritrosit

Klasifikasi Efek Radiasi



Klasifikasi Efek Radiasi



Terjadi pada individu yang terpapar



Terjadi pada keturunannya; kelainan genetik

Klasifikasi Efek Radiasi



Segera (menit-minggu); SRA, Eritrema, Rambut rontok



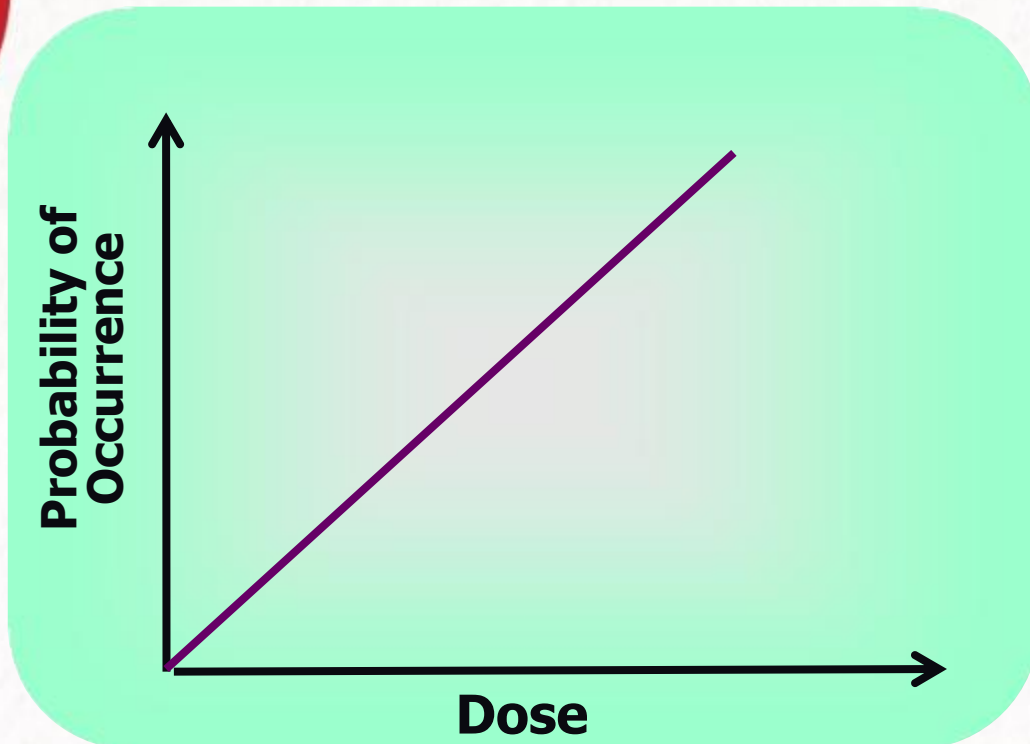
Tertunda (bulan-tahun); Kanker, Katarak, Genetik

Klasifikasi Efek Radiasi



Efek Radiasi

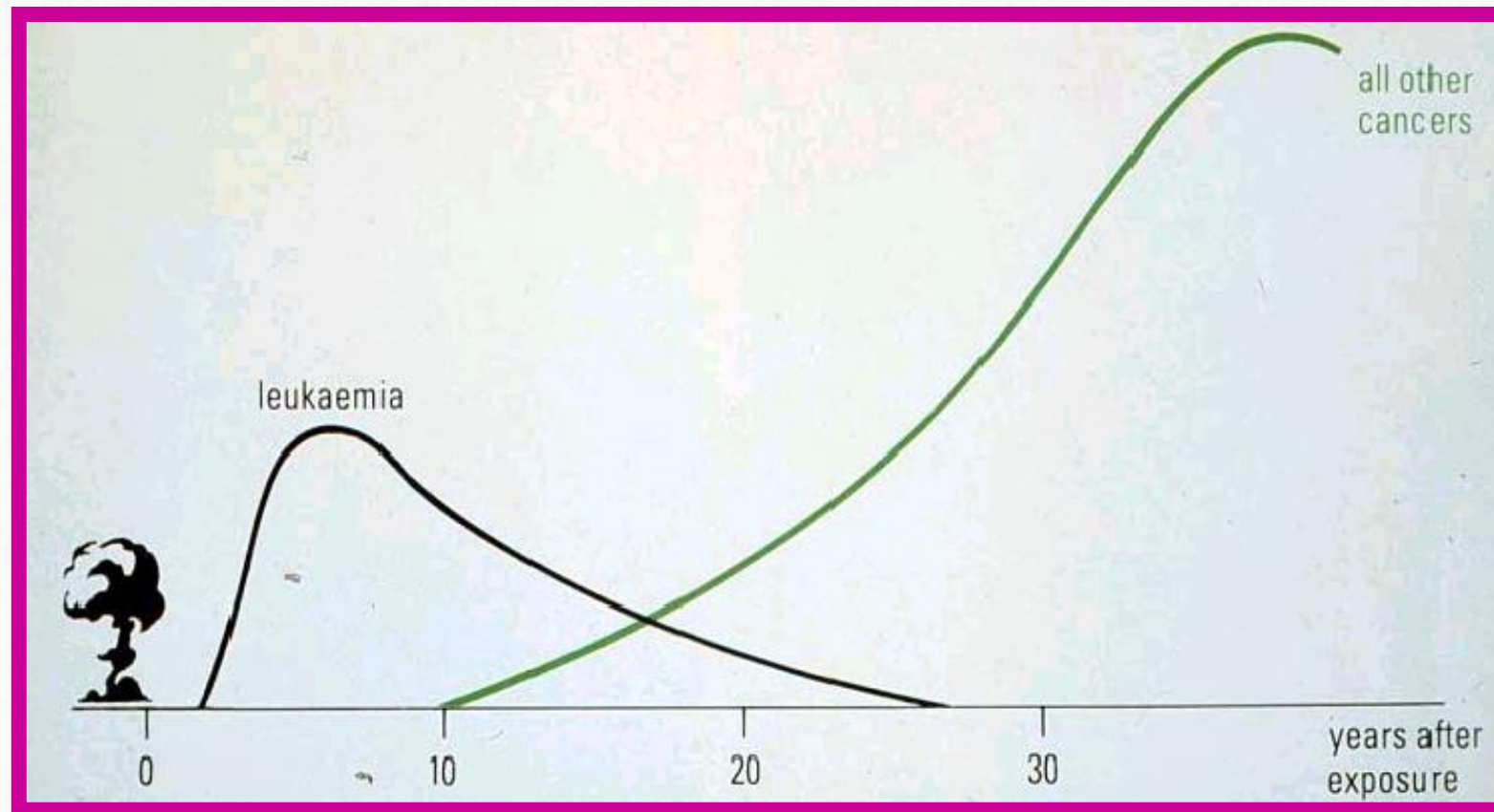
Efek stokastik dapat terjadi jika sel yang terkena paparan radiasi pengion mengalami modifikasi



Ciri-ciri efek **stokastik**:

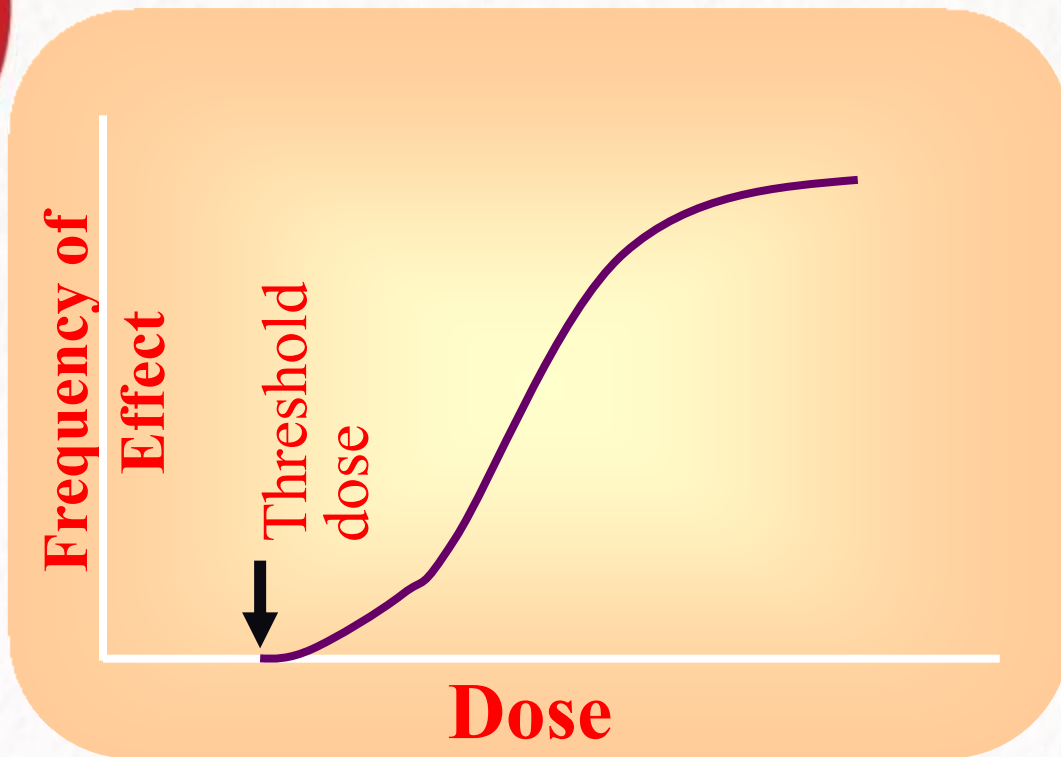
- Bersifat random
- Tidak memiliki dosis ambang
- Probabilitas kejadian bergantung dosis
- Dapat terjadi pada individu terpapar dan turunannya

Efek Radiasi (Stokastik)



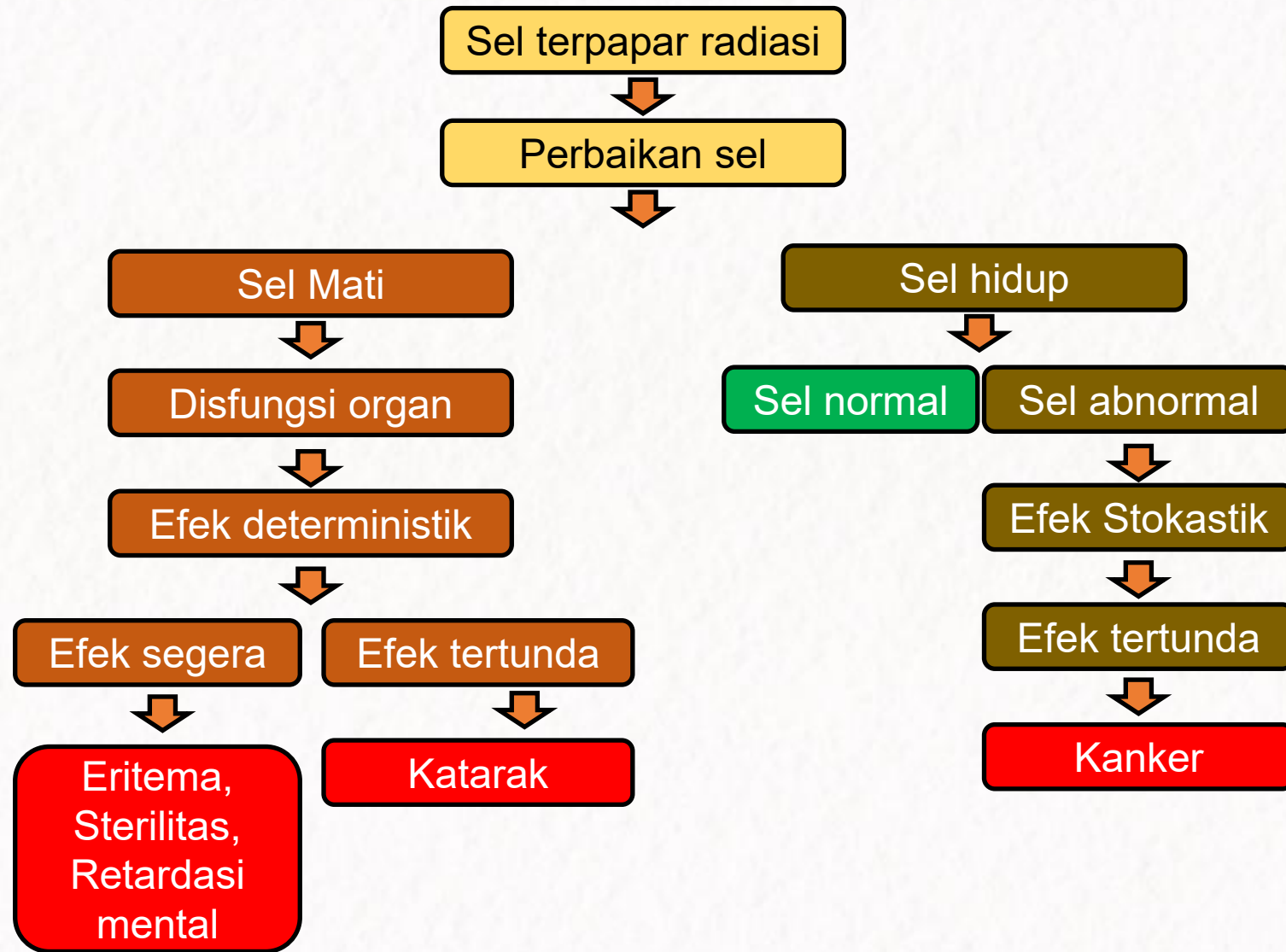
Efek Radiasi

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



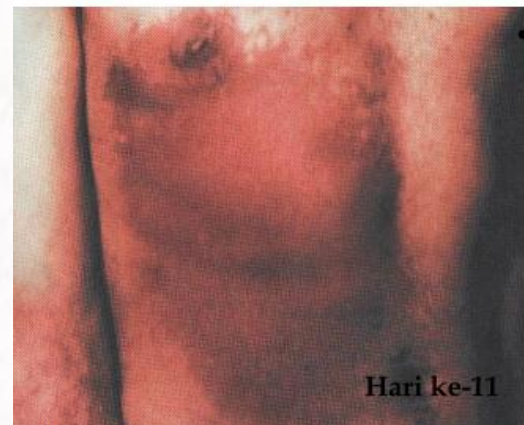
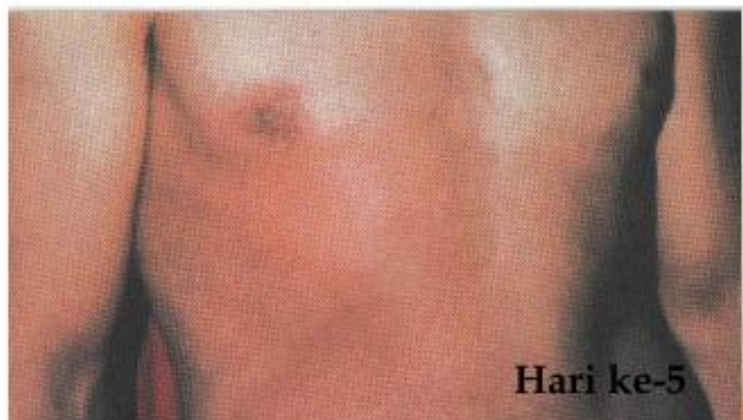
Ciri-ciri efek deterministik:

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



Efek Deterministik pada Kulit

Efek Radiasi	Rentang Dosis (Gy)	Waktu
Eritema awal	2 – 3	6 – 24 jam
Epilasi dan deskuamasi kering	3 – 8	3 – 6 minggu
Deskuamasi basah	12 – 20	4 – 6 minggu
Nekrosis	> 20	10 minggu



Efek Deterministik pada Mata



Lensa mata, cukup sensitif

0,5 Gy → kekeruhan lensa mata teramati

2-10 Gy → katarak dalam 6 bulan – 35 tahun

Semakin tinggi dosis, semakin singkat masa laten

Efek Deterministik pada Testis

Oligosperma

• 0,15 Gy

Steril untuk beberapa bulan

• < 1 Gy

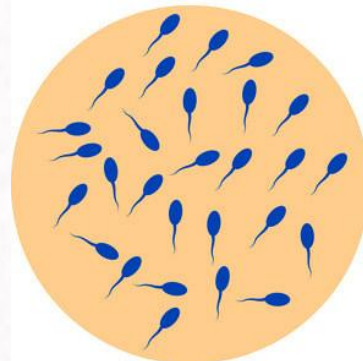
Steril untuk 1-2 tahun

• 1-3 Gy

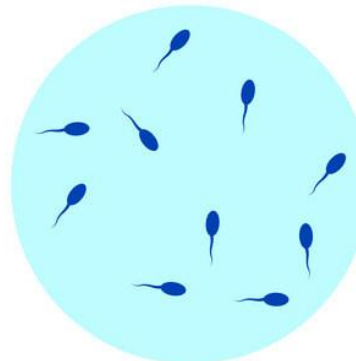
Steril permanen

• 3,5-6 Gy

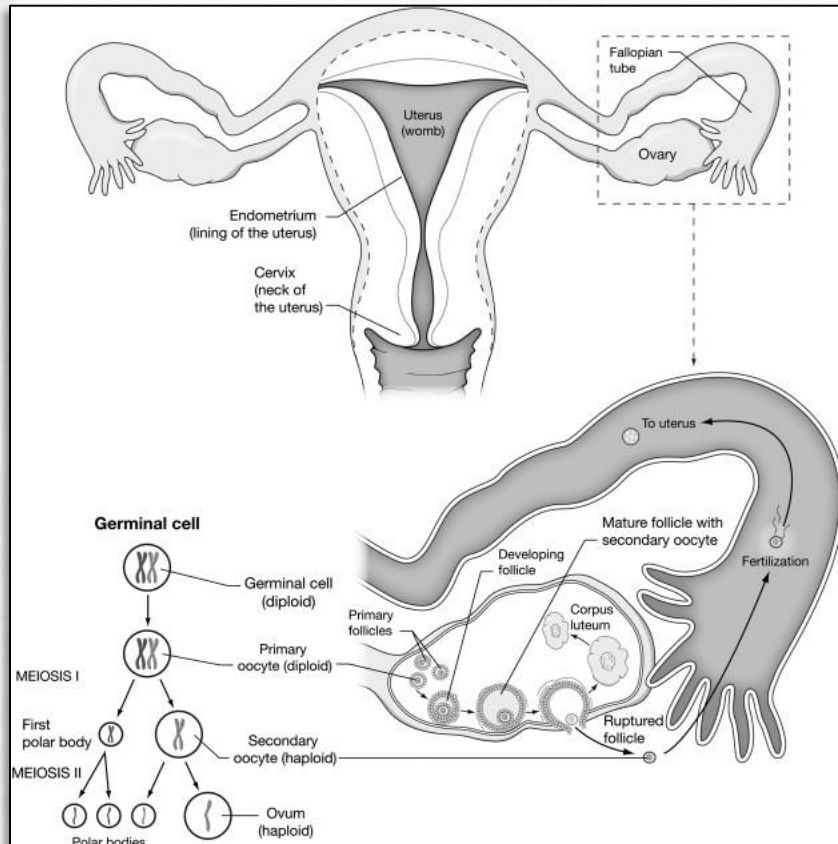
Normal sperm count



Low sperm count



Efek Deterministik pada Ovarium



Steril
sementara

• 0,65 Gy

Steril pada
usia 40
Tahunan

• 5-7 Gy

Steril pada
usia 20
tahunan

• 12-13 Gy

Sindroma Radiasi Akut

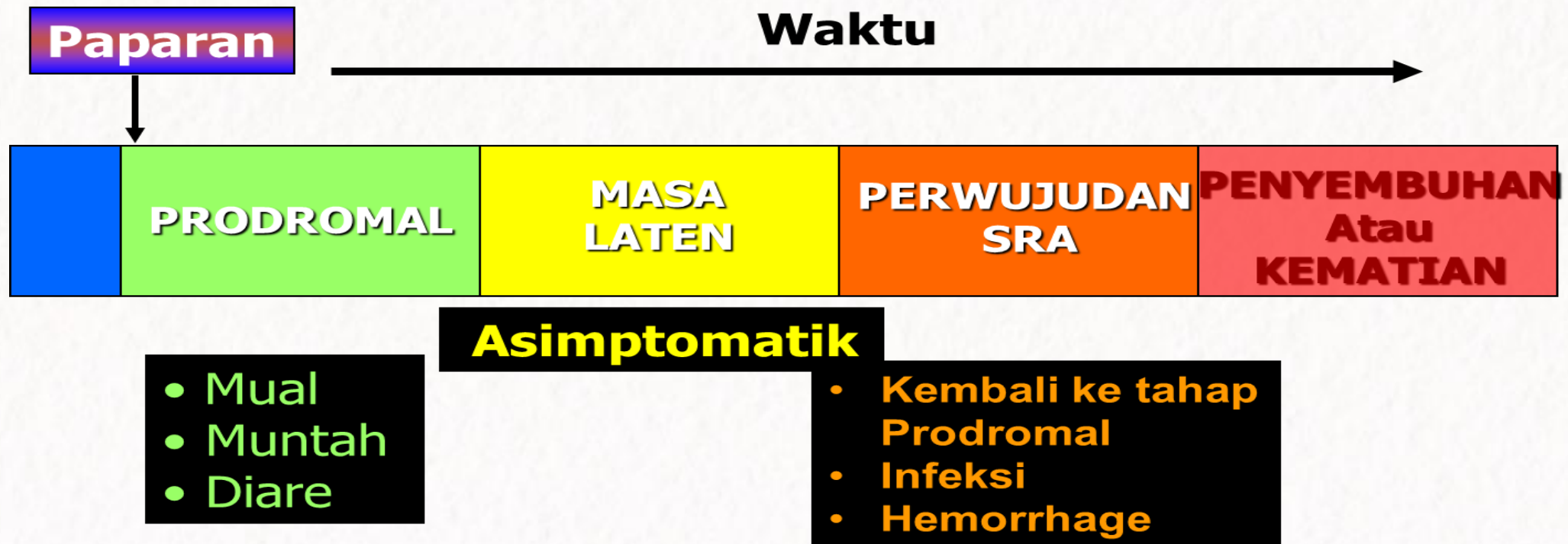
Sindroma Radiasi Akut (SRA) :

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

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**

Sindroma Radiasi Akut



Pemantauan Kesehatan (Perba 6; 2010)

Pemeriksaan kesehatan

Konseling

Penatalaksanaan
Penerimaan Dosis Berlebih

Pemantauan Kesehatan (Perba 6; 2010)

Pemeriksaan Kesehatan

Umum

Sebelum, Selama dan
Pemutusan Hub Kerja

- Anamnesis
- Riwayat penyakit keluarga
- Pemeriksaan Fisik
- Pemeriksaan Lab

Khusus

- ✓ Diduga mengalami gejala karena penerimaan dosis berlebih
- ✓ Penatalaksana dosis berlebih

- Pemeriksaan darah lengkap
- Pemeriksaan sperma
- Pemeriksaan aberasi kromosom (Dosimetri Biologi)

Pemantauan Kesehatan (Perba 6; 2010)

Konseling

Dilakukan melalui:

- Pemeriksaan Psikologi
- Konsultasi

Dilakukan kepada:

- Pekerja Wanita yang/diduga hamil; menyusui
- Pekerja yang menerima paparan radiasi berlebih
- Pekerja yang berkehendak mengetahui tentang paparan yang diterimanya

Pemantauan Kesehatan (Perba 6; 2010)

Penatalaksana Dosis Berlebih

Penatalaksana Kesehatan Pekerja Radiasi yang mendapat paparan radiasi berlebih :

- Kajian terhadap dosis yang diterima
- Konseling
- Pemeriksaan Kesehatan dan tindak lanjut

Pemantauan Kesehatan (Perba 6; 2010)

Kajian terhadap dosis yang diterima:

- Pembacaan dosimeter personal
- Evaluasi pemantauan daerah kerja/rekonstruksi dosis
- Jika ada paparan internal, perlu kajian invivo & invitro (**Bioassay**)

Jika PR mendapat dosis $> 0,2 \text{ Sv}$:

- Aberasi kromosom pada sel darah
- Pemeriksaan limfosit absolut
- Pemeriksaan sel darah lengkap

Rekaman & Laporan Dosis Personal

1. Paling singkat untuk jangka waktu **30 tahun** setelah pekerja radiasi berhenti bekerja
2. PI wajib menyimpan rekaman hasil pemantauan dosis Paling singkat sampai pekerja radiasi mencapai **umur 75 tahun**

Efek Radiasi pada Fukushima – UNSCEAR 2020/2021

1. Tidak ada bukti
 - ✓ Tidak ditemukan **dampak kesehatan** yang disebabkan oleh paparan radiasi
 - ✓ Bahkan ke depan pun diperkirakan dampak seperti itu *tidak akan bisa terdeteksi* karena dosis radiasi yang diterima relatif rendah
2. Risiko penyakit secara teori ada, tapi **sulit dibuktikan**
 - ✓ UNSCEAR menilai berdasarkan perhitungan dosis vs angka dasar penyakit (baseline)
Hasilnya: peningkatan yang mungkin terjadi **terlalu kecil untuk bisa dideteksi** di populasi
3. Tidak ada peningkatan **cacat lahir** atau gangguan kehamilan
4. Penyakit lain yang meningkat **bukan karena radiasi**
 - ✓ Ada peningkatan penyakit jantung, pembuluh darah, atau gangguan metabolik pada orang yang dievakuasi -> Karena stress, perubahan gaya hidup dll
5. Tidak ada **kelebihan kasus**: Kanker tiroid, leukemia, kanker payudara
6. Dampak **psikologis** besar

Kecelakaan Radiasi pada Fasilitas Iradiator

1. Kecelakaan Iradiator, Nesvizh, Belarus (1991)
 - Pekerja masuk ke dalam ruang iradiator untuk memperbaiki **konveyor**
 - Sumber Co-60 tidak masuk ke posisi aman (shielded)
 - Pekerja menerima dosis sangat tinggi (> 10 Gy)
 - Akibatnya, pekerja meninggal 113 hari kemudian karena **sindrom radiasi akut**
2. Kecelakaan Iradiator, Soreq, Israel (1990)
 - Seorang teknisi melakukan perbaikan pada sistem iradiasi
 - **Interlock** keamanan tidak berfungsi, sumber Co-60 tetap berada di posisi aktif
 - Pekerja terpapar > 10 Gy, meninggal dalam beberapa minggu
3. Kecelakaan Iradiator, San Salvador, El Salvador (1989)
 - Dua pekerja masuk ke ruang iradiasi untuk memperbaiki masalah mekanis
 - Sumber Co-60 masih **berada pada posisi iradiasi**
 - Keduanya menerima dosis radiasi sangat tinggi ($> 4\text{--}5$ Gy)
 - Satu pekerja meninggal setelah beberapa minggu, yang lain mengalami cedera serius





Terima Kasih



www.brin.go.id



Brin Indonesia



@brin_indonesia



@brin.indonesia



Bridging Sciences
Empowering Talents

@dpk brin