

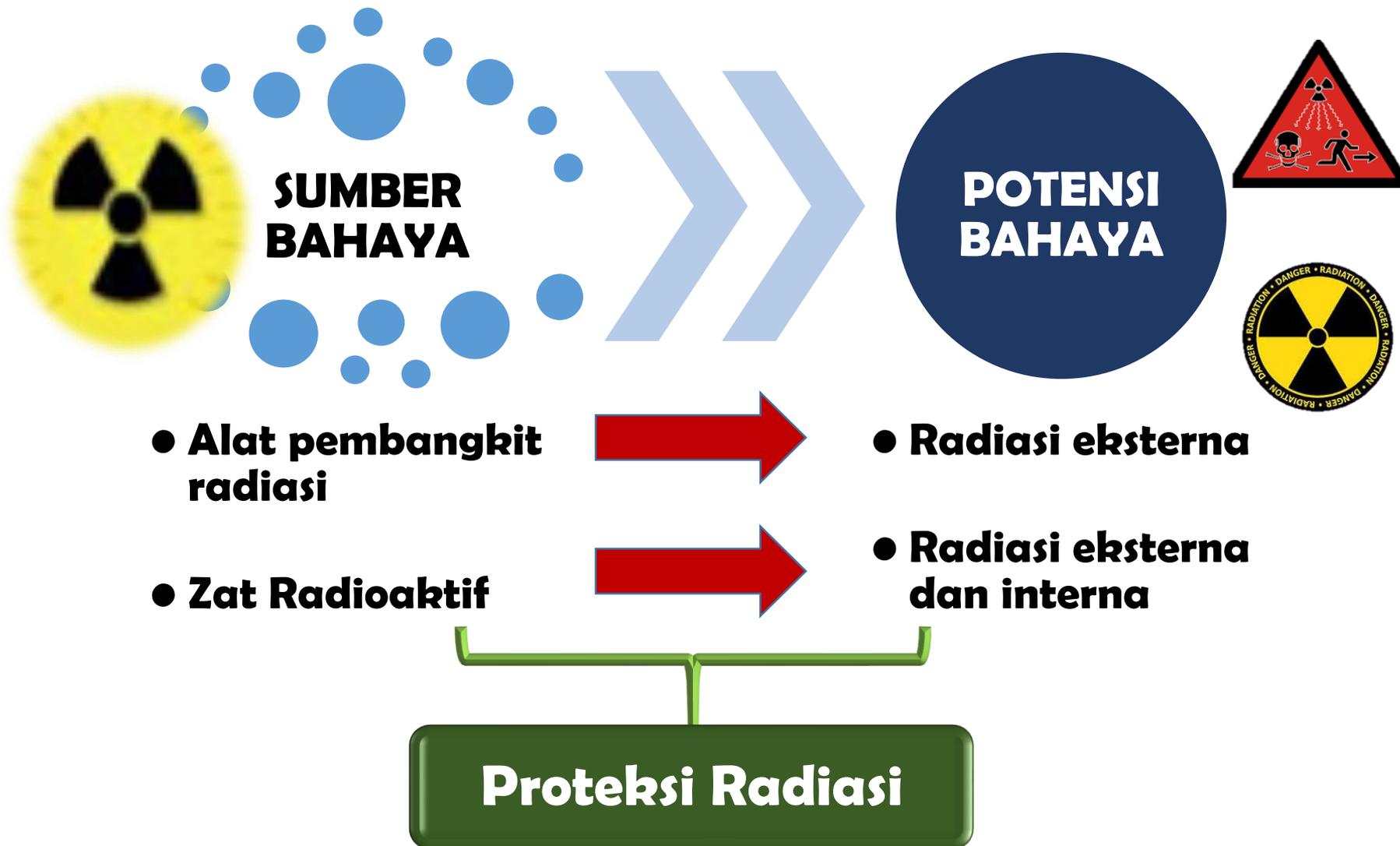
# DASAR PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI



**Pelatihan Petugas Iradiator**

**Eko Lestariningsih**  
**Pusat Sains dan Teknologi Akselerator**  
**Email : [eko\\_In@batan.go.id](mailto:eko_In@batan.go.id)**





## KOMPETENSI DASAR

**Setelah mengikuti materi ini peserta akan mampu**

**memahami implementasi proteksi radiasi dalam pemanfaatan iradiator**

## Indikator Keberhasilan (1)

**Menjelaskan Tujuan Dasar Keselamatan Radiasi**

**Menjelaskan Prinsip Dasar Proteksi dan Keselamatan Radiasi**

**Menjelaskan Potensi Radiasi Interna dan Eksterna dalam Fasilitas Iradiator**

**Menjelaskan Faktor Pengendalian Radiasi Eksterna**

**Menjelaskan Faktor Pengendalian Radiasi Interna**



## Pemanfaatan Tenaga Nuklir

- Pemanfaatan Sumber Radiasi
- Tujuan dan Prinsip Keselamatan Radiasi



## Dasar/Persyaratan Proteksi Radiasi

- Justifikasi
- Limitasi
- Optimisasi



## Proteksi Radiasi Eksterna

- Sumber Radiasi Eksterna
- Faktor Pengendalian Radiasi Eksternal



## Proteksi Radiasi Interna

- Sumber Radiasi Interna
- Pengendalian Radiasi Interna

## Sumber Radiasi

### **Radiasi Pengion**

Terjadi Ionisasi saat berinteraksi dengan materi/Tubuh Manusia

- Alpha
- Beta
- Gamma
- X-ray
- Neutron



**Efek Negativ, baik Stokastik maupun Deterministik**

### **Radiasi non-Pengion**

Tidak terjadi Ionisasi saat berinteraksi dengan materi/tubuh manusia

- Sinar Matahari
- Cahaya Lampu
- Radiasi Ponsel

**Tindakan/Usaha untuk melindungi**

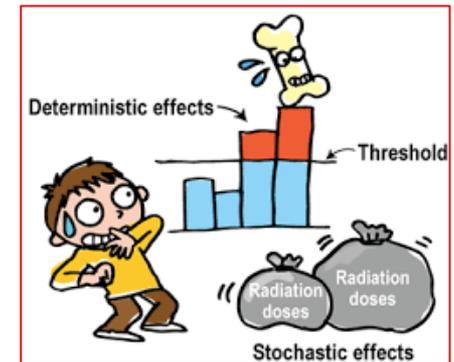
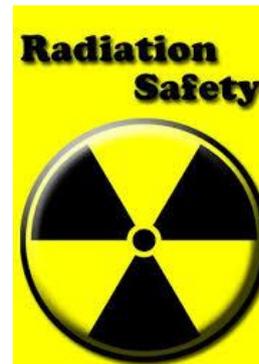
**Pekerja, masyarakat dan lingkungan**





## Tujuan Keselamatan Radiasi:

- Mencegah terjadinya efek deterministik
- Membatasi peluang terjadinya efek stokastik





# Persyaratan Keselamatan



**Persyaratan  
Manajemen**



**Persyaratan  
Proteksi  
Radiasi**



**Persyaratan  
Teknik**

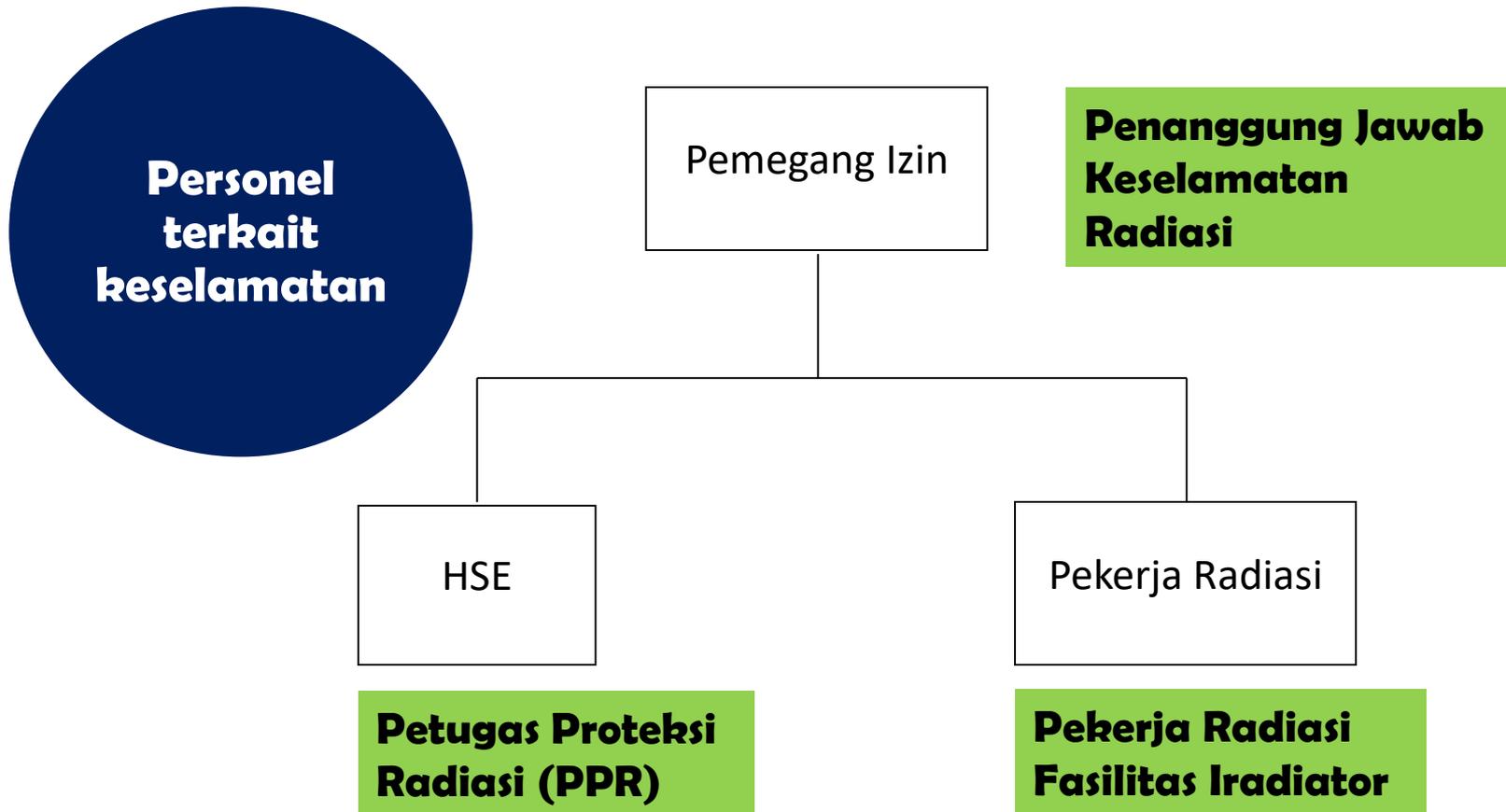


**Verifikasi  
Keselamatan**





# Organiasasi Keselamatan



## Tanggung Jawab Pemegang Izin

- mewujudkan tujuan keselamatan radiasi fasilitas Iradiator;
- menyusun, mengembangkan, melaksanakan, dan mendokumentasikan PPKR;
- membentuk dan menetapkan Penyelenggara Keselamatan Radiasi;
- menentukan tindakan dan sumber daya yang diperlukan;
- meninjau ulang setiap tindakan dan sumber daya;
- mengidentifikasi setiap kegagalan dan kelemahan (perbaikan dan pencegahan);
- membuat prosedur konsultasi dan kerja sama antar pihak; dan
- membuat dan memelihara rekaman keselamatan radiasi.



## Tanggung Jawab Pekerja Radiasi

- mematuhi prosedur operasi;
- mengikuti pemantauan kesehatan dan pemantauan dosis perorangan;
- mengikuti pendidikan dan pelatihan;
- menggunakan peralatan pemantau dosis perorangan dan peralatan protektif radiasi;
- menginformasikan kepada Pemegang Izin tentang riwayat pekerjaan; dan
- menyampaikan masukan kepada Petugas Proteksi Radiasi.



- mengidentifikasi dan memperbaiki faktor yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi;
- mengidentifikasi tanggung jawab setiap personel;
- menetapkan kewenangan setiap personel;
- membangun komunikasi pada seluruh tingkatan organisasi;
- menetapkan kualifikasi dan pelatihan setiap personel; dan
- Melakukan Kaji diri Budaya Keselamatan Organisasi

**Cara mewujudkan budaya keselamatan**

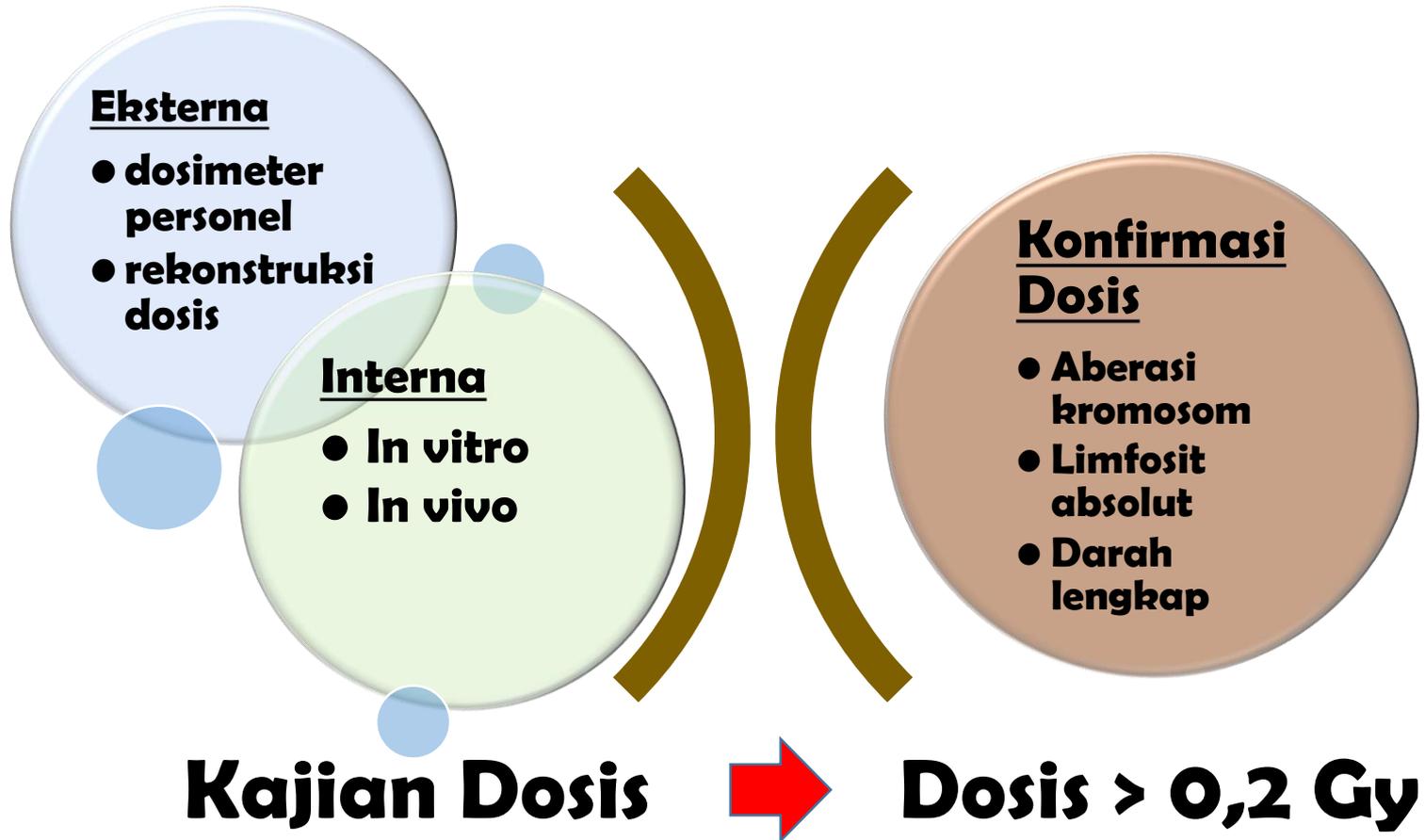




## Tujuan

- **menilai kesehatan** pekerja radiasi;
- **memastikan kesesuaian** kesehatan dengan pekerjaan;
- **memberikan pertimbangan** dalam menangani keadaan darurat;
- **menyediakan rekaman** untuk penanganan kasus paparan kecelakaan atau PAK, evaluasi statistik PAK, data *medico legal*, dan kaji ulang manajemen proteksi radiasi.

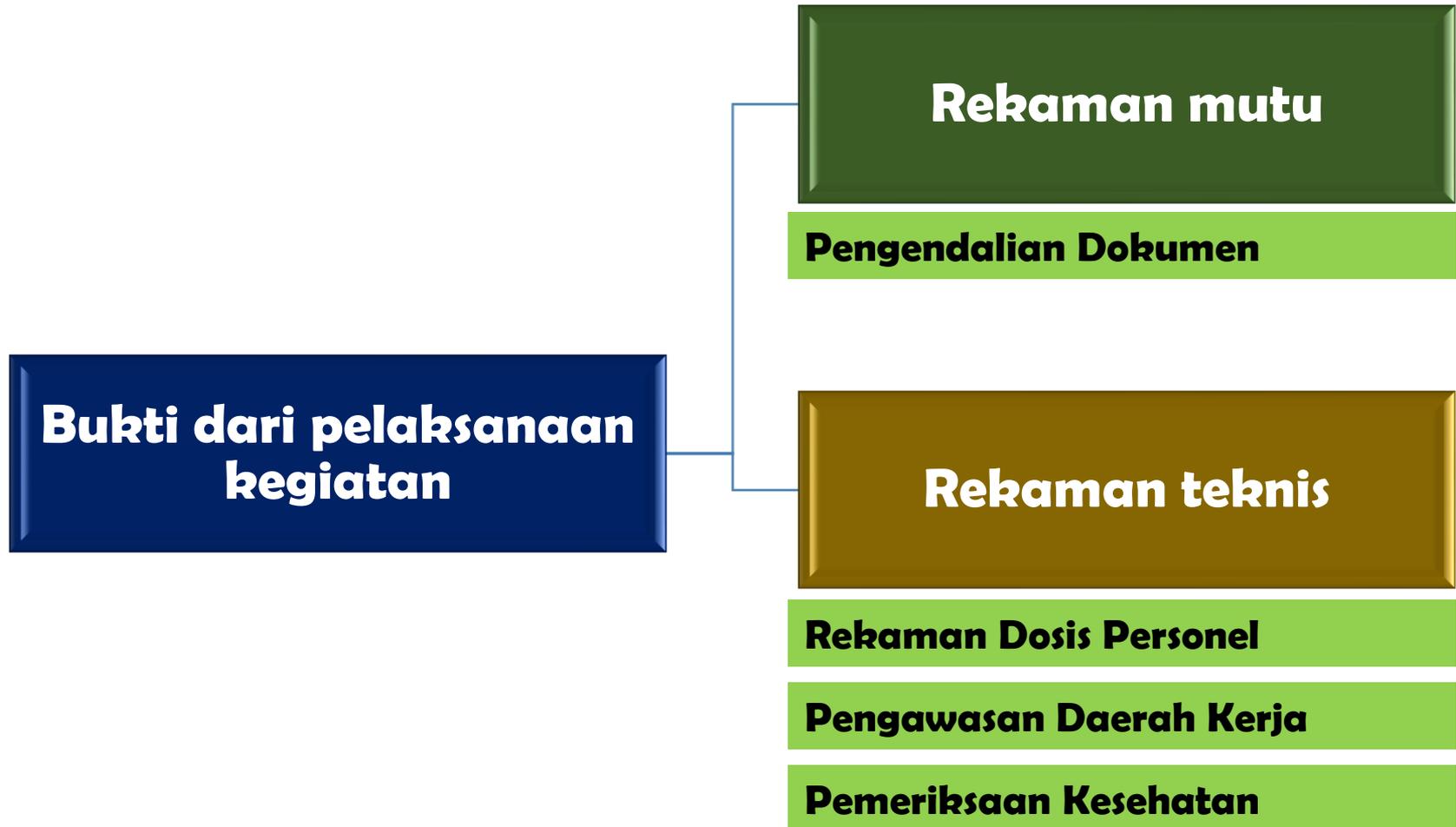


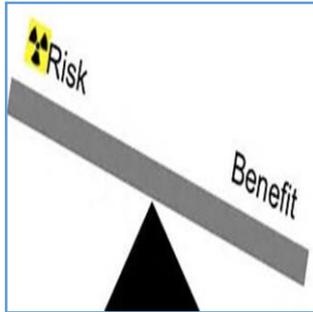




## **Materi :**

- **peraturan perundang-undangan ketenaganukliran;**
- **sumber radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir;**
- **efek biologi radiasi;**
- **satuan dan besaran radiasi;**
- **prinsip proteksi dan keselamatan radiasi;**
- **alat ukur Radiasi; dan**
- **tindakan dalam keadaan kedaruratan.**



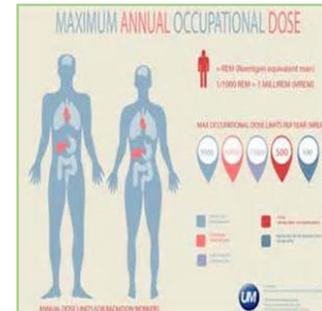


## Justifikasi

- Manfaat >>> risiko

## Limitasi

- Penerapan NBD pekerja dan masyarakat
- Tidak termasuk penyinaran alam dan medik



## Optimisasi

- ALARA
- Ekonomi dan sosial

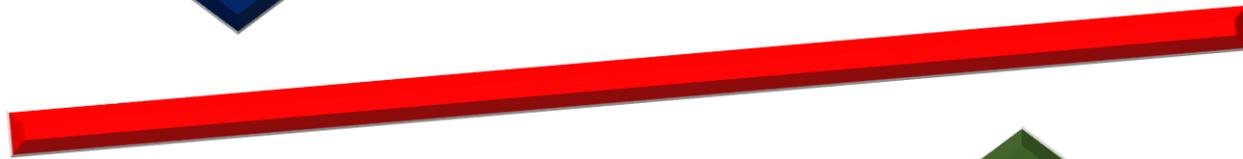


## Risiko

- **Efek Stokastik**
- **Efek deterministik**

## Mempertimbangkan :

- adanya penerapan teknologi lain, risiko yang ditimbulkan lebih kecil dari jenis Pemanfaatan Tenaga Nuklir yang sudah ada;
- ekonomi, sosial, kesehatan dan keselamatan; serta
- pengelolaan limbah radioaktif dan dekomisioning



## Manfaat

- **Industri, Kesehatan**
- **Tidak ada metode lain**



## Pengertian Nilai Batas Dosis:

- Dosis terbesar diizinkan BAPETEN
- Waktu tertentu
- Tanpa efek berarti

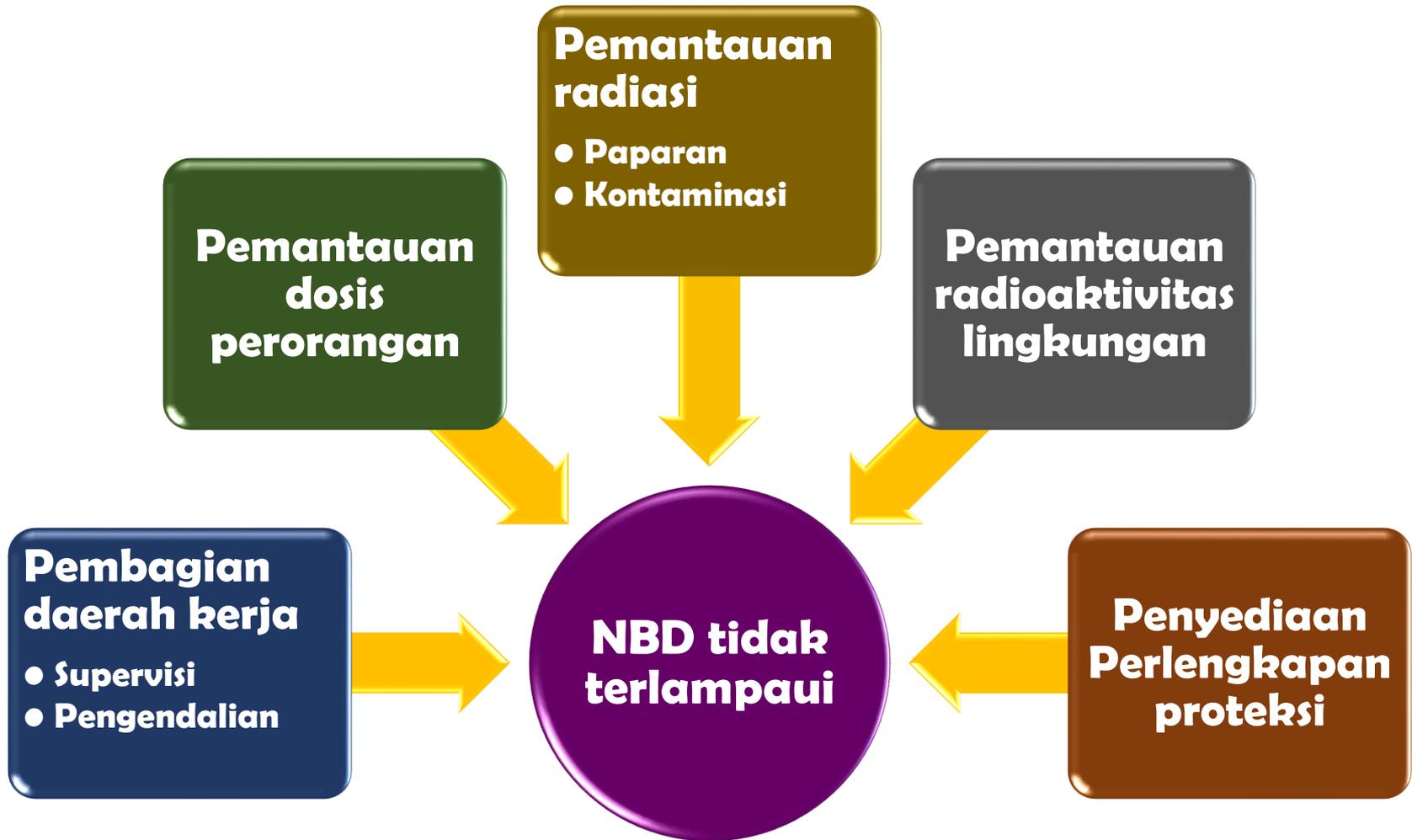
## Nilai NBD

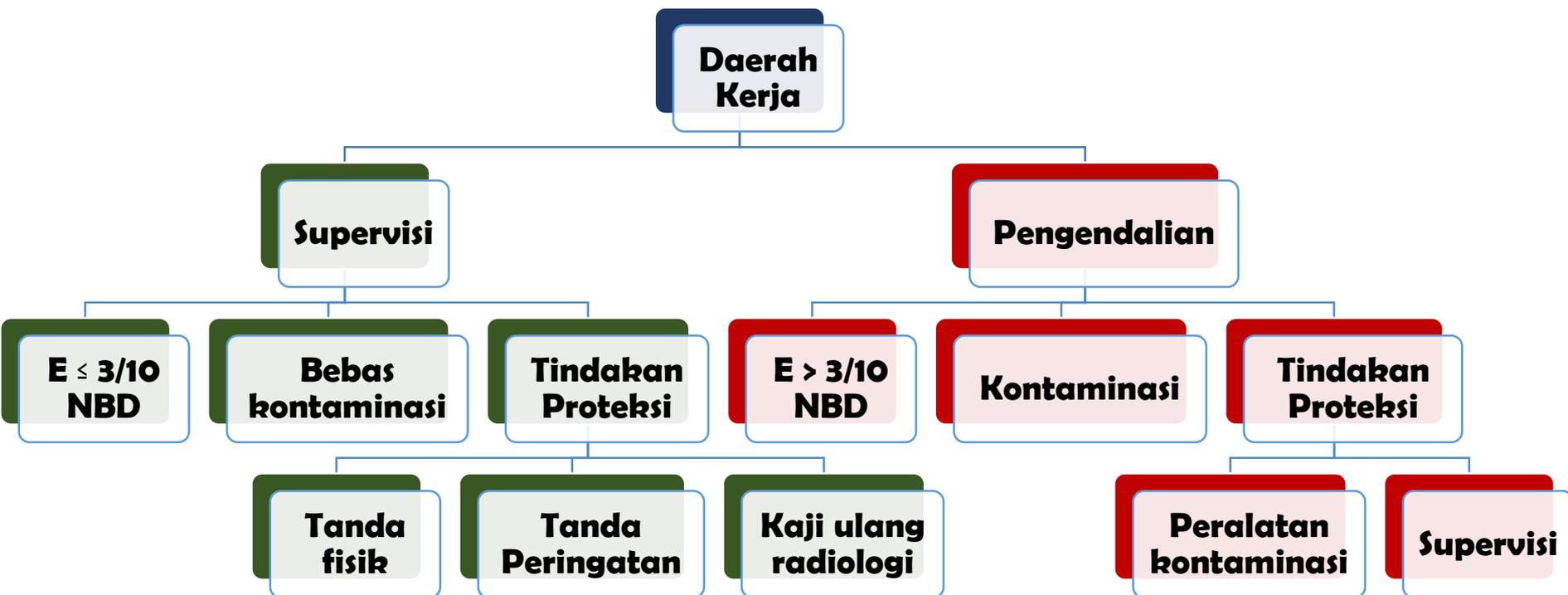
### Pekerja

- $E$  rerata = 20 mSv/tahun untuk 5 tahun
- $E = 50$  mSv untuk 1 tahun tertentu
- $H$  mata = 20 mSv/tahun untuk 5 tahun
- $H$  kulit = 500 mSv

### Masyarakat

- $E = 1$  mSv per tahun
- $H$  mata = 15 mSv
- $H$  kulit = 150 mSv





## Mesin Berkas Elektron

- Ruang MBE ( $E \sim 15$  mSv/tahun)
- Ruang Operator ( $E < 6$  mSv/tahun)

## Generator Neutron

- Ruang GN ( $E \sim 15$  mSv/tahun)
- Ruang Operator ( $E < 6$  mSv/tahun)

## Implantor Ion

- Ruang Implantor Ion ( $E < 6$  mSv/tahun)
- Ruang Operator ( $E < 6$  mSv/tahun)

**Tidak terdapat potensi kontaminasi**

**Penyinaran harus diusahakan serendah-rendahnya yang memenuhi kelayakan dengan prinsip As Low As Reasonably Achievable (ALARA).**



## Pembatas dosis

- **Pekerja**
- **Masyarakat**

## Tingkat panduan paparan medik

- **Radiodiagnostik dan intervensional**
- **Kedokteran nuklir**



## Pekerja

- **Ditetapkan Pemegang Izin**
- **Berdasarkan hasil evaluasi dosis dan beban kerja**
- **Ditinjau ulang**
- **Diuraikan dalam Program Proteksi**
- **$\leq$  NBD**



## Masyarakat

- **Nilai Ditetapkan dalam Peraturan**
- **0,3 mSv**



## Proteksi Radiasi Eksterna

- Sumber Radiasi Eksterna
- Pengendalian Bahaya Radiasi Eksterna



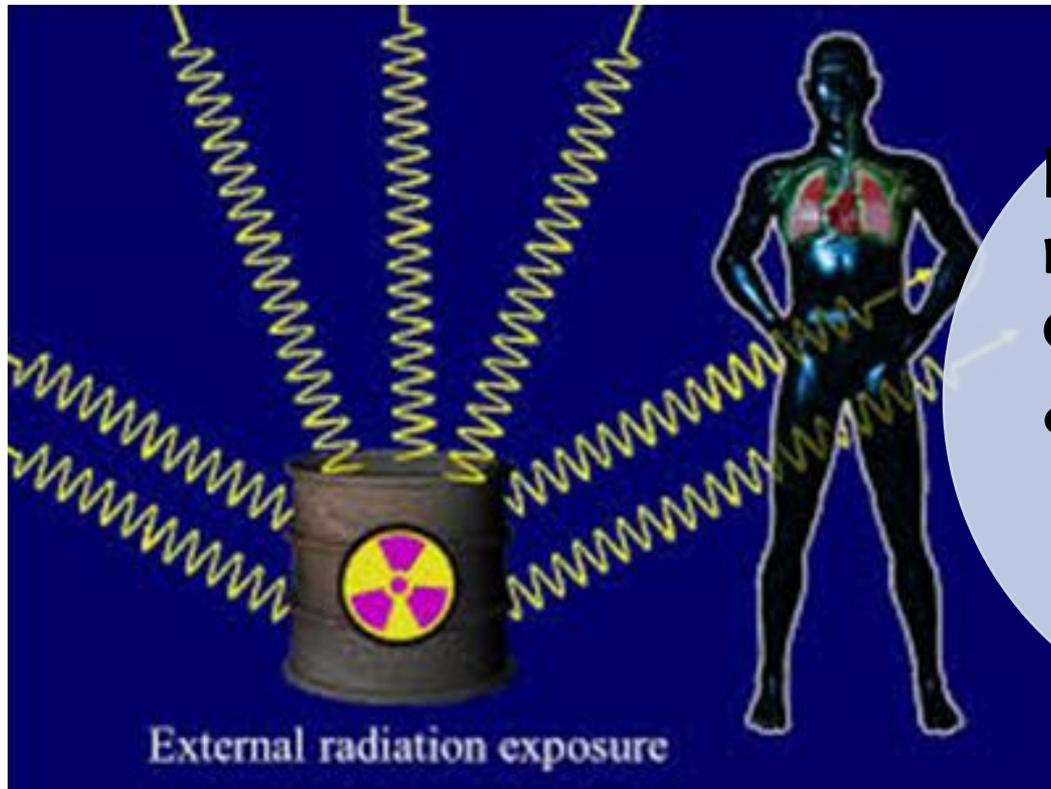
## Proteksi Radiasi Interna

- Sumber Radiasi Interna
- Pengendalian Bahaya Radiasi Interna



## Sumber radioaktif terbungkus

- **zat radioaktif berbentuk padat yang terbungkus secara permanen dalam kapsul yang terikat kuat**



## Paparan radiasi eksternal

- Paparan yang berasal dari sumber radiasi yang berada di luar tubuh

## Potensi Bahaya

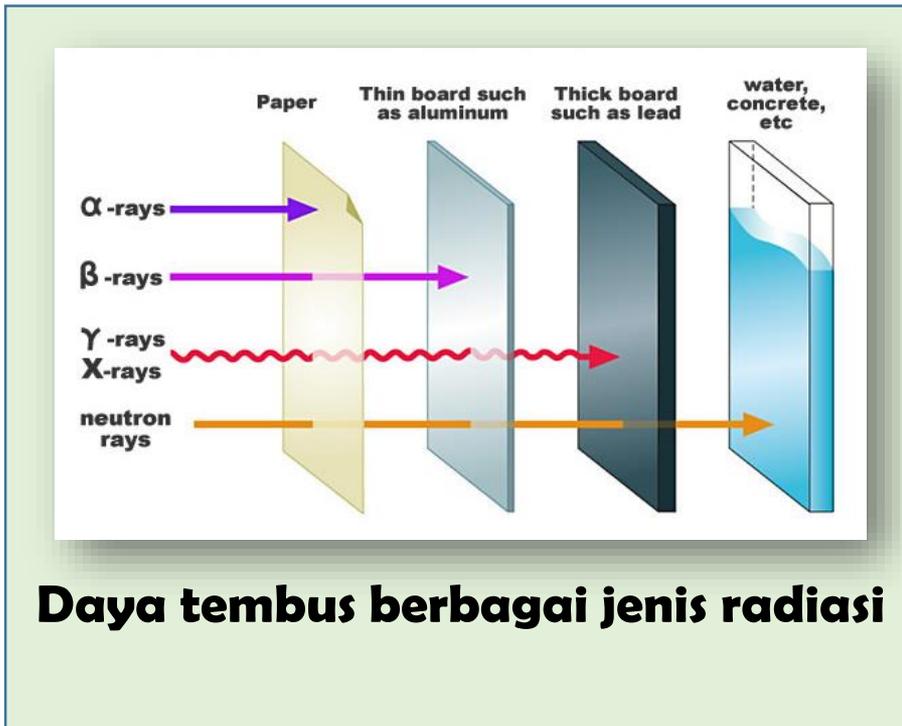
**Jenis radiasi, daya ionisasi dan daya tembus**



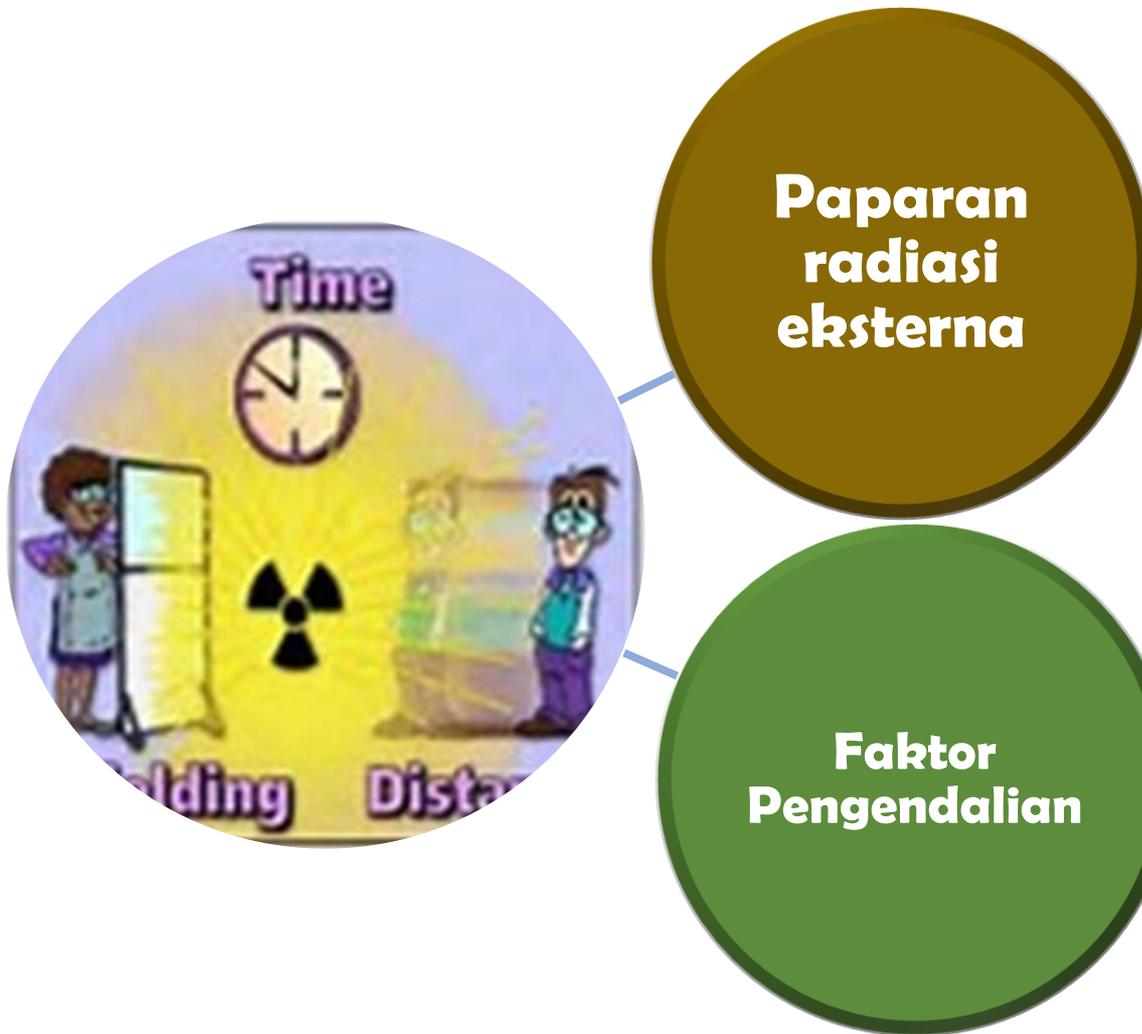
## Radiasi eksternal

**Daya tembus menentukan potensi bahaya**

↓ **Alpha – Beta – Gamma – Neutron** ↑



| Jenis Radiasi | Bahaya Relatif Radiasi Eksterna |
|---------------|---------------------------------|
| alpha         | Sangat Kecil                    |
| beta          | Kecil                           |
| Sinar-X       | Besar                           |
| gamma         | Besar                           |
| Neutron       | Sangat besar                    |



- **Paparan dari sumber radiasi yang berada di luar tubuh**

- **Waktu**
- **Jarak**
- **Penahan**

**Dosis** yang diterima **sebanding linear** dengan lamanya waktu terpapar radiasi

$$D = \dot{D} \cdot t$$



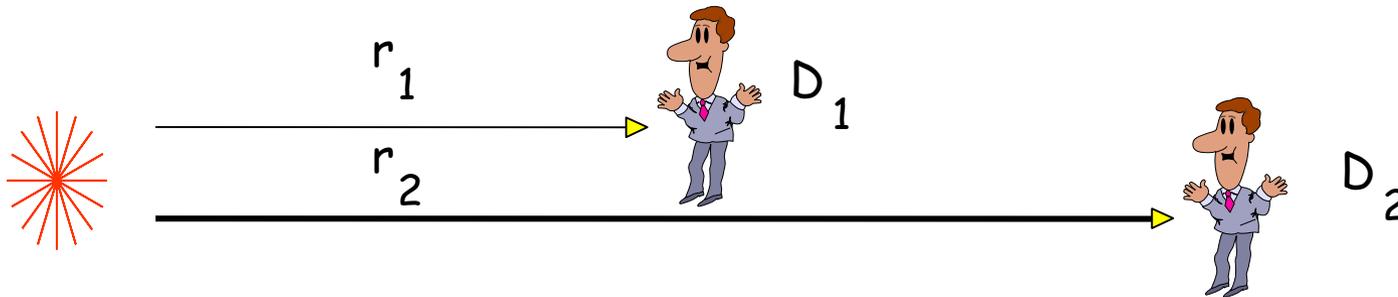
**Keterangan:**

**$D$**  : dosis

**$\dot{D}$**  : laju dosis

**$t$**  : waktu

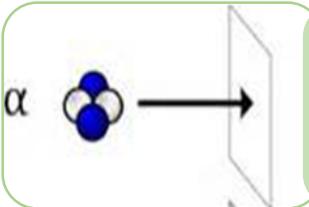
Hukum kuadrat terbalik :  $D = \frac{k}{r^2}$



$$D_1 \cdot r_1^2 = D_2 \cdot r_2^2$$

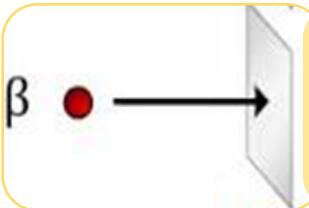
Laju dosis **berbanding terbalik** dengan kuadrat jarak

**memasang penahan radiasi - laju dosis berkurang**



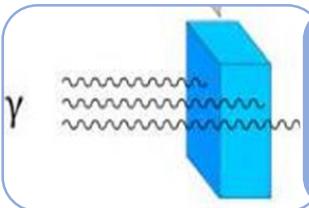
**Alpha ( $\alpha$ )**

**di udara jangkauan pendek, dapat dihentikan selembat kertas**



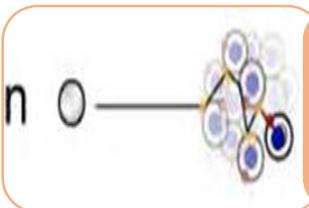
**Beta ( $\beta$ )**

**ditentukan dari jangkauan maksimum dalam bahan penahan ( $\text{mg}/\text{cm}^2$ ) – [kurva](#); radiasi beta berenergi tinggi - sinar-X**



**Gamma ( $\gamma$ )**

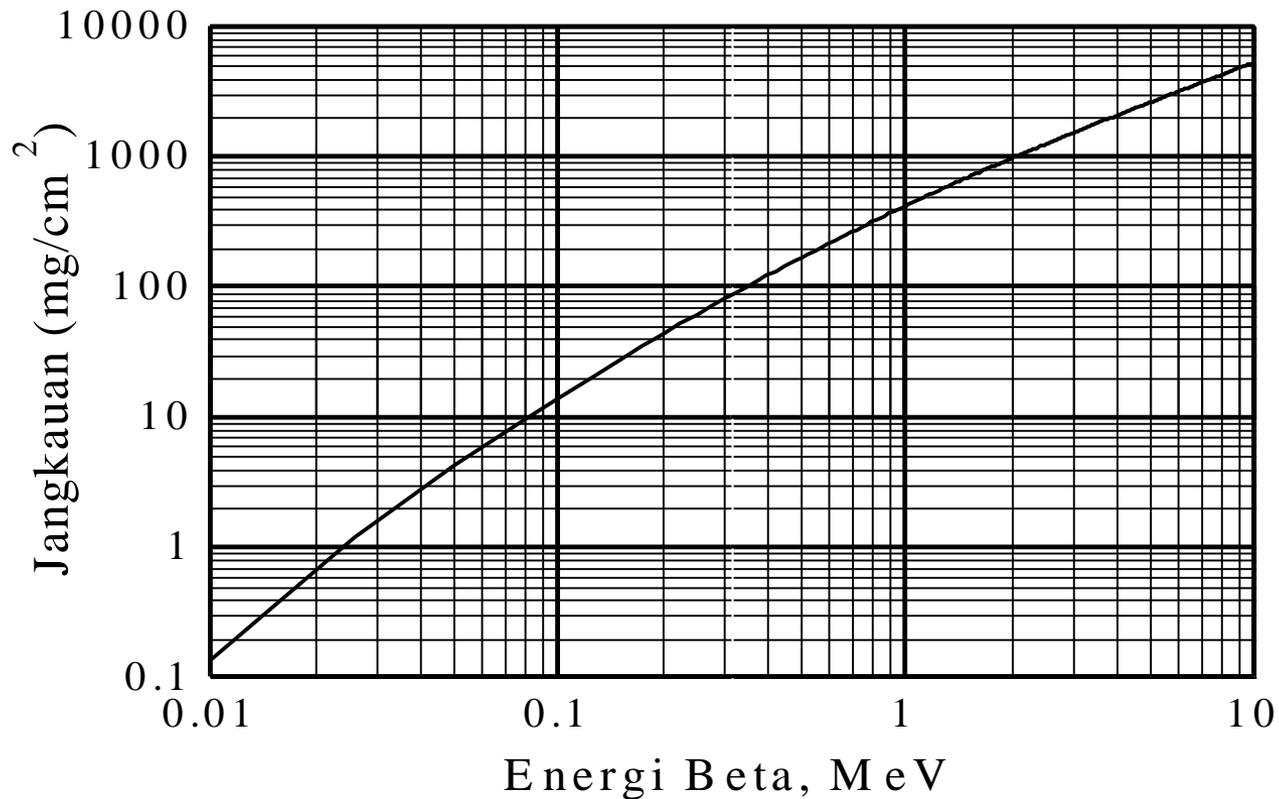
**tidak diserap seluruhnya oleh bahan dan mengalami atenuasi**



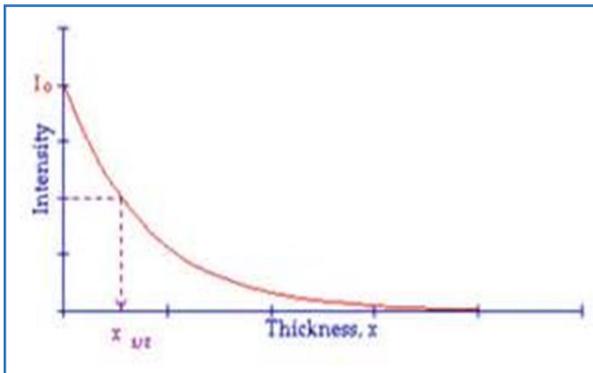
**Neutron (n)**

**dapat diserap oleh penahan, penurunan energi/perlambatan, dan diikuti proses penangkapan neutron**

# Penahan Radiasi Beta



**Ketebalan penahan yang dibutuhkan, tergantung energi radiasi beta dan densitas bahan penahan**



**Penurunan intensitas radiasi gamma setelah melalui penahan mengikuti persamaan:**

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

**Jika:**

$$x = \text{HVL}$$

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu}$$

**I** : Intensitas radiasi setelah melalui penahan

**I<sub>0</sub>** : Intensitas radiasi mula-mula (sebelum melalui penahan)

**μ** : koefisien atenuasi

**x** : ketebalan penahan

**HVL** : Half Value Layer, ketebalan yang dibutuhkan agar intensitas setelah melalui penahan menjadi **setengah** dari intensitas mula-mula

Maka, persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$I = I_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^n$$

dengan

$$n = \frac{x}{HVL}$$

Jika:

$$x = TVL$$

$$TVL = \frac{2,303}{\mu}$$

**TVL : Tenth Value Layer, ketebalan yang dibutuhkan agar intensitas setelah melalui penahan menjadi **sepersepuluh** dari intensitas mula-mula**

Maka,

$$I = I_0 \times \left(\frac{1}{10}\right)^m$$

dengan

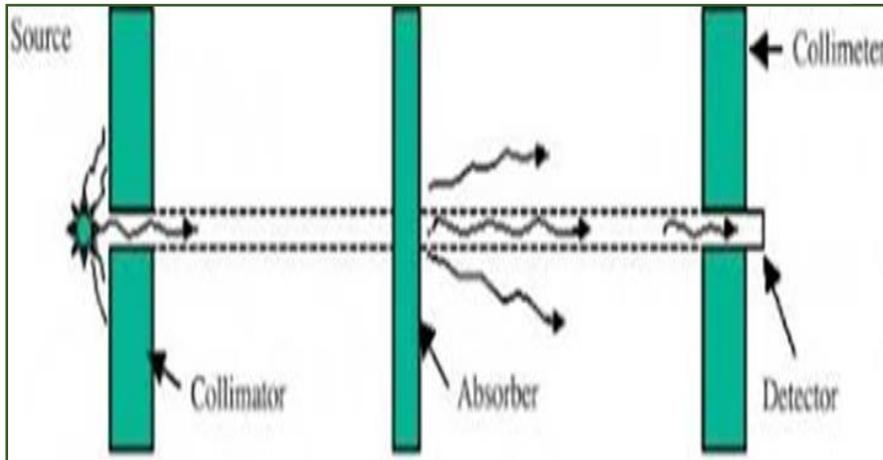
$$m = \frac{x}{TVL}$$

# Penahan Radiasi Gamma



| Tegangan Maksimum<br>(kV) | Bahan Penahan |       |            |       |           |      |
|---------------------------|---------------|-------|------------|-------|-----------|------|
|                           | Timbal (mm)   |       | Beton (cm) |       | Besi (cm) |      |
| Radionuklida              | HVL           | TVL   | HVL        | TVL   | HVL       | TVL  |
| 50                        | 0,06          | 0,17  | 0,43       | 1,50  |           |      |
| 70                        | 0,17          | 0,52  | 0,84       | 2,80  |           |      |
| 100                       | 0,27          | 0,88  | 1,60       | 5,30  |           |      |
| 125                       | 0,28          | 0,93  | 2,00       | 6,60  |           |      |
| 150                       | 0,30          | 0,99  | 2,24       | 7,40  |           |      |
| 200                       | 0,52          | 1,70  | 2,50       | 8,40  |           |      |
| 250                       | 0,88          | 2,90  | 2,80       | 9,40  |           |      |
| Cs-137 (662 keV)          | 6,50          | 21,60 | 4,80       | 15,70 | 1,60      | 5,30 |
| Co-60 (1173, 1332 keV)    | 12,00         | 40,00 | 6,20       | 20,60 | 2,10      | 6,90 |
| Ra-226 (maks 2,5 MeV)     | 16,60         | 55,00 | 6,90       | 23,40 | 2,20      | 7,40 |

# Penahan Radiasi Gamma (Berkas Sempit dan Lebar)

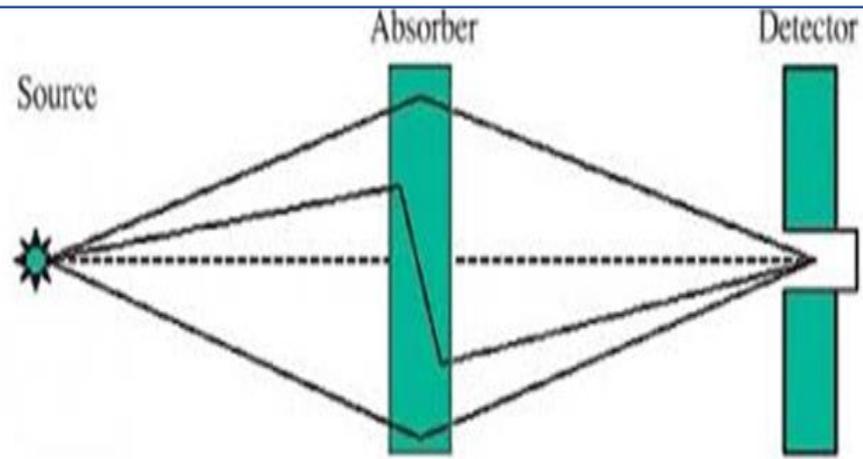


## Berkas sempit

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

## Berkas lebar

$$I = B \times I_0 \times e^{-\mu x}$$

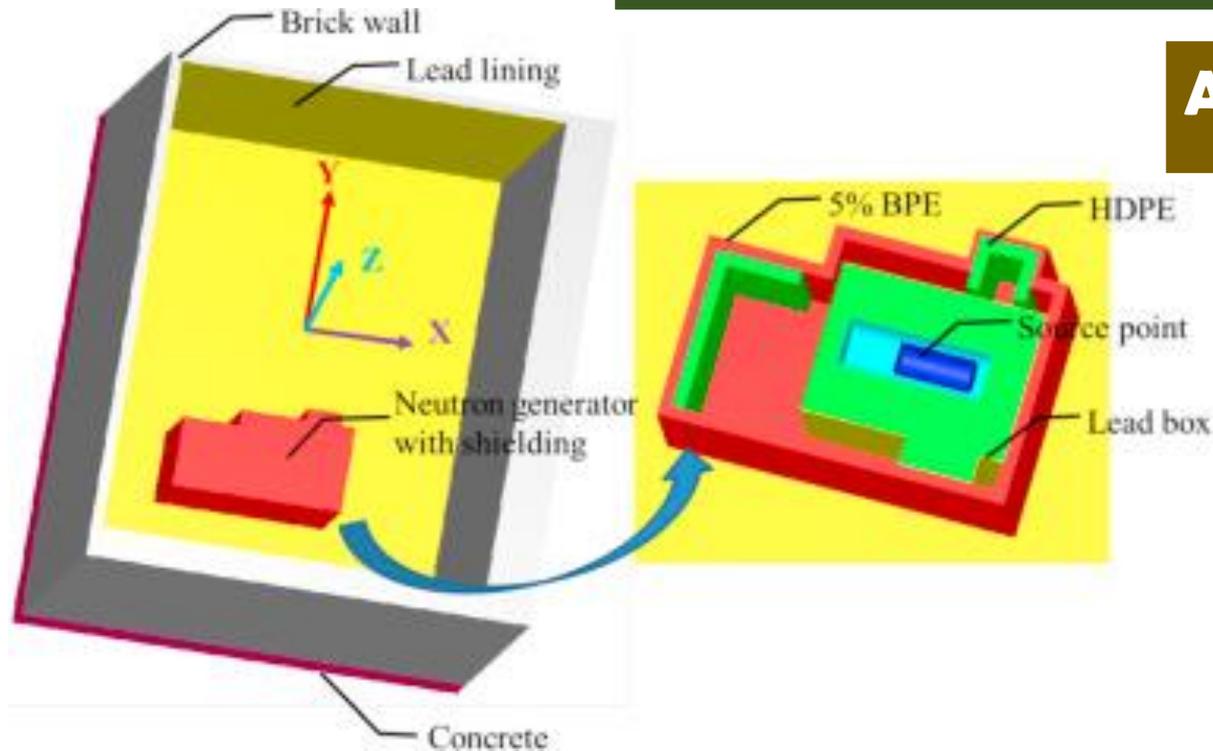


# Penahan Radiasi Neutron

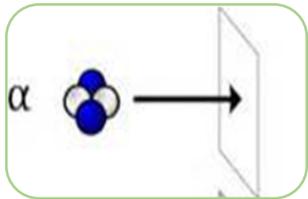
**Moderasi: nomor massa rendah; hidrogen dalam air, parafin, dan polietilen (PE)**

**Penangkapan: penampang lintang absorpsi tinggi**

**Aktivasi: Pb**

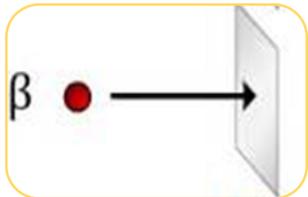


## Jenis bahan penahan disesuaikan dengan jenis radiasi



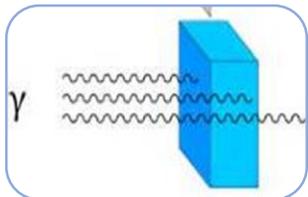
**Alpha ( $\alpha$ )**

**Tidak perlu penahan**



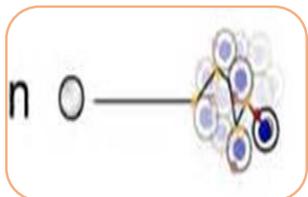
**Beta ( $\beta$ )**

**nomor atom rendah (leucite, Al) dilapisi bahan nomor atom tinggi**



**Gamma ( $\gamma$ )**

**Nomor atom dan densitas tinggi (Pb, beton, Fe)**



**Neutron (n)**

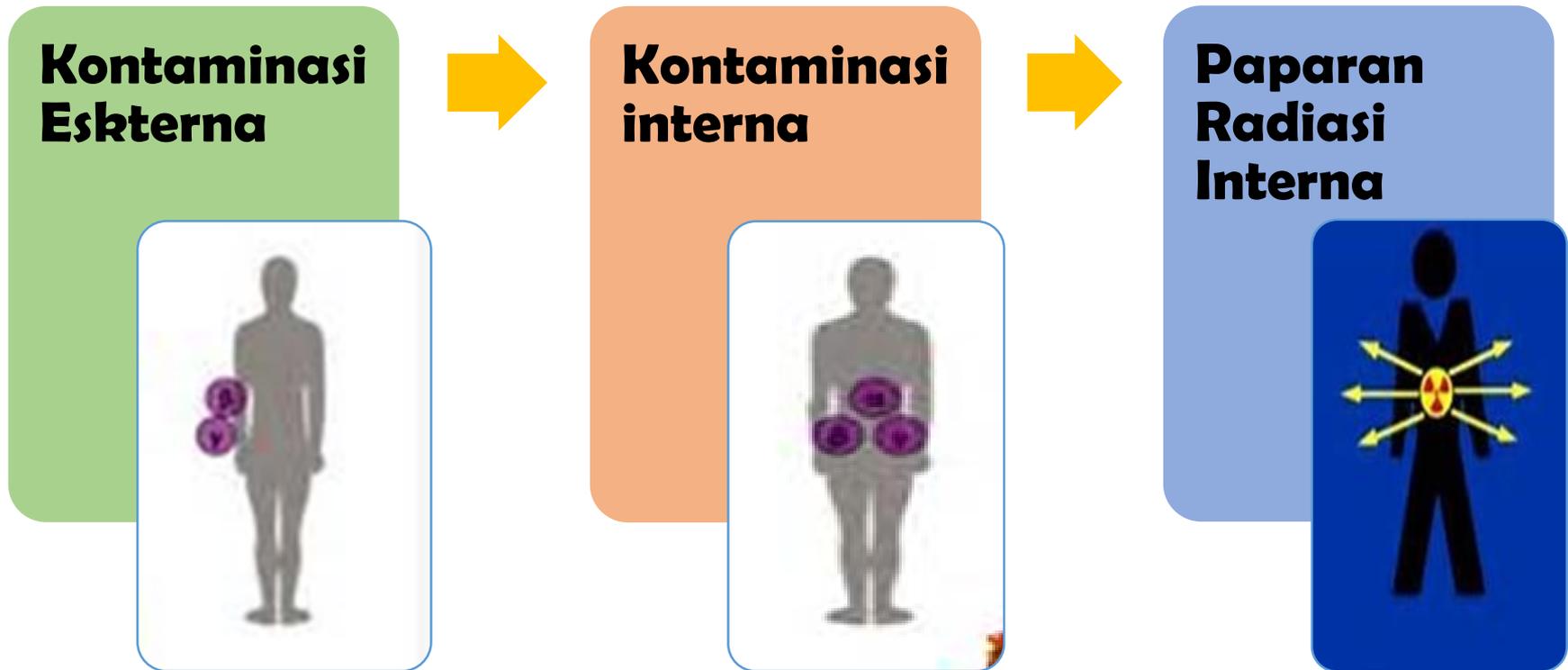
**Nomor massa rendah, penangkapan neutron tinggi**



## Paparan radiasi interna

- Paparan yang berasal dari zat radioaktif yang berada di dalam tubuh

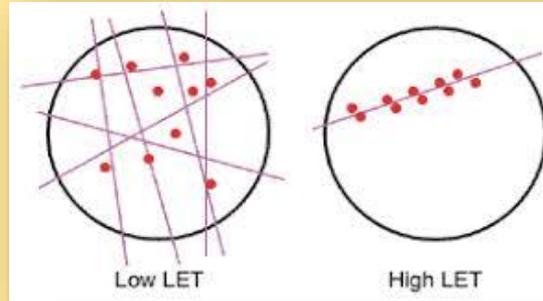
# Proses Paparan Radiasi Interna



## **Kontaminasi:**

**Keberadaan zat radioaktif di tempat yang tidak seharusnya dan **berpotensi** menyebabkan terjadinya paparan radiasi interna**

# Potensi Bahaya Radiasi Interna



## Daya ionisasi

| Jenis Kontaminasi | Daya Ionisasi                    | Bahaya Relatif Radiasi Interna |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>Alpha</b>      | <b>besar</b>                     | <b>Tinggi</b>                  |
| <b>Beta</b>       | <b>&lt; dari alpha</b>           | <b>Sedang</b>                  |
| <b>Gamma</b>      | <b>&lt; dari alpha atau beta</b> | <b>Rendah</b>                  |
| <b>Neutron</b>    | <b>&gt; Dari gamma</b>           | <b>Sedang - Tinggi</b>         |

## Jalur masuk ZRA

- Pernafasan
- Pencernaan
- Absorpsi kulit

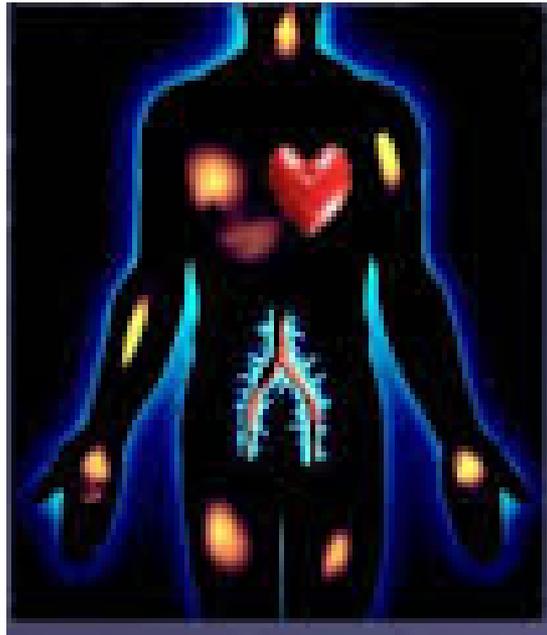


## Kecepatan ekskresi ZRA dipengaruhi oleh:

- **Metabolisme**
- **Umur paruh efektif:**
  - Umur paruh fisik
  - Umur paruh biologi

## Organ kritis:

- **Organ yang mengakumulasi terbanyak ZRA yang masuk ke dalam tubuh**



| Radionuklida | Organ Kritis   |
|--------------|----------------|
| I-131        | Tiroid         |
| Sr-90        | Tulang         |
| Cs-137       | Otot           |
| Ir-192       | Jaringan lunak |

- Cara :**
- memblok ketiga jalan masuk
  - membatasi penyebaran zat radioaktif dari sumber kepada pekerja

## Faktor Pengendalian



- Sumber radioaktif
- Lingkungan kerja
- Pekerja radiasi



## 1. Sumber Radioaktif

- Pembatasan penggunaan ZRA
- Pembatasan penyebaran ZRA

## 2. Lingkungan Kerja

- Desain fasilitas
- Pemantauan kontaminasi
- Dekontaminasi



## 3. Pekerja Radiasi

- Penggunaan APD:
  - Pakaian pelindung
  - Pelindung pernafasan

- Jas Laboratorium
- TLD/rekaman Dosis
- Dosimeter saku
- Prosedur Operasional
- Pembekalan Pekerja
- Monitor X-ray
- Surveymeter Beta-Gamma
- CCTV

## STANDARD OPERATING PROCEDURE





# Pemadam Kebakaran



---

## **Pengertian**

## **Keselamatan Radiasi**

---

## **Proteksi Radiasi**

---

## **Tujuan Keselamatan**

**Membatasi peluang efek stokastik**

---

**Mencegah terjadinya efek deterministik**

---

## Persyaratan Keselamatan Radiasi

**Manajemen**

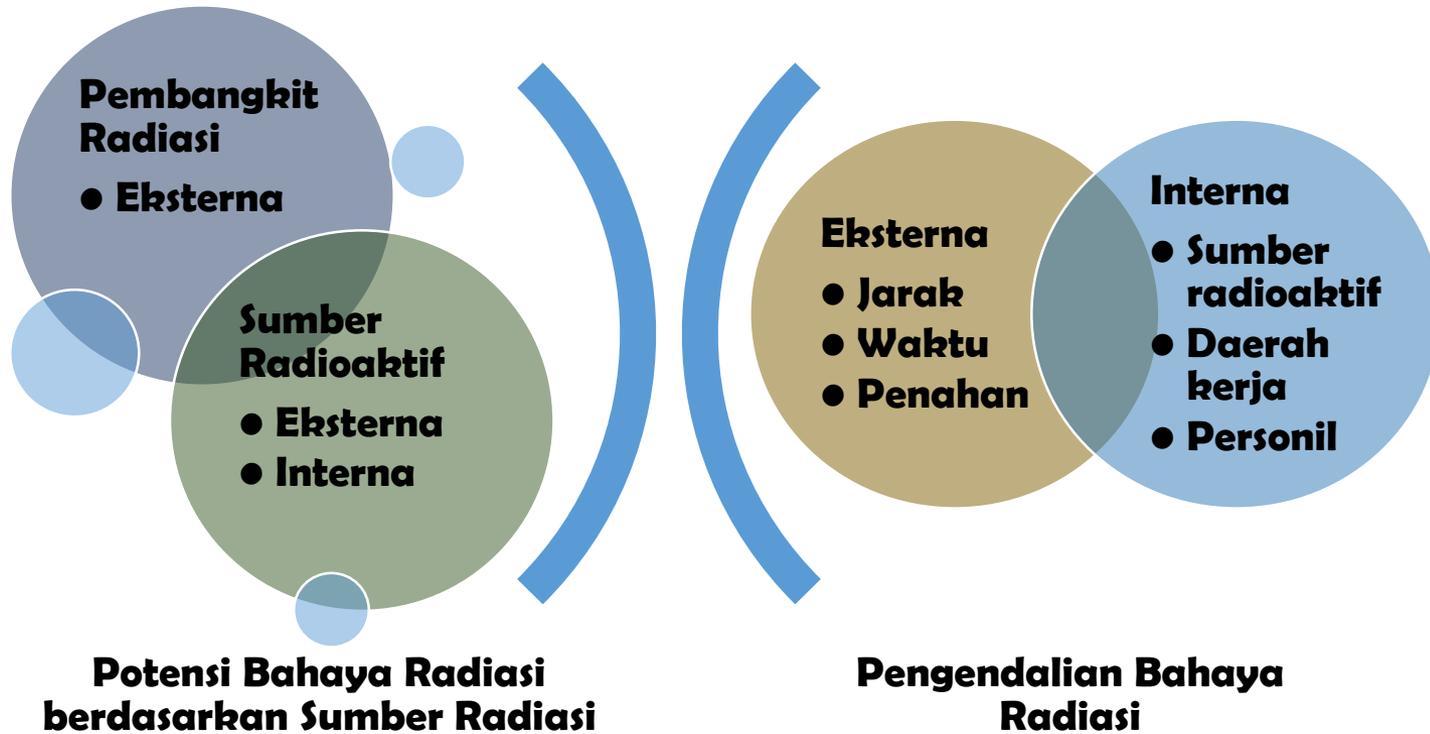
**Penanggung jawab, budaya keselamatan, pemantauan kesehatan, personil, pelatihan, dan rekaman**

**Proteksi Radiasi**

**Justifikasi, Limitasi, dan Optimisasi**

**Teknis**

**Verifikasi Keselamatan**



**Tingkat Potensi Bahaya Radiasi Relatif (jenis radiasi, daya tembus & daya ionisasi)**

**Eksterna: Alpha – Beta – Gamma – Neutron**

**Interna : Gamma – Beta – Neutron – Alpha**



## PSTA - BATAN



Jl. Babarsari PO BOX 6101 ykbb Yogyakarta



(0274) 488435 | Fax. (0274) 489762



psta@batan.go.id