

TEORI IRADIATOR GAMMA

Arif Rachmanto

Pelatihan Petugas Iradiator

Direktorat Pengembangan Kompetensi BRIN

BIODATA

Jabatan

- Peneliti Ahli Muda

Keahlian

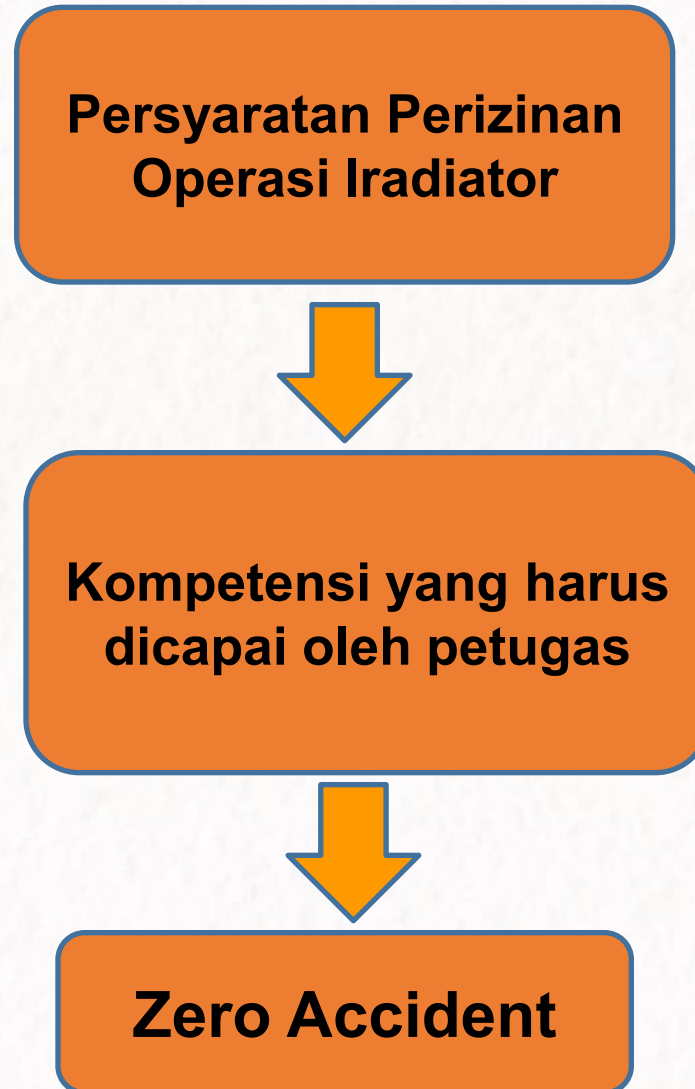
- Material Detektor Radiasi
- Irradiator Gamma
- Water Treatment System

Kegiatan dan Aktifitas

- Periset Material Detektor Radiasi di Pusat Teknologi Riset Analisis Berkas Nuklir 2023 – skrg
- Petugas operasi, perawatan, dosimetri irradiator gamma dan berkas elektron 2015-2021
- Tim Teknis Pembangunan Irradiator Gamma Merah Putih



LATAR BELAKANG



LATAR BELAKANG



Dosis Rendah (< 1 kGy)

- Mutasi tanaman
- Menghambat perkecambahan
- Disinfestasi serangga
- Penundaan pematangan buah



Dosis Sedang ($1\text{kGy} < x < 10\text{kGy}$)

- Pasteurisasi



Dosis Tinggi ($\geq 10\text{ kGy}$)

- Sterilisasi
- Dekontaminasi mikroba pada rempah-rempah

Ref : Technical Reports Series IAEA No 409

TUJUAN PEMBELAJARAN

- Peserta mampu menjelaskan teori iradiator berbasis zat radioaktif dengan benar yang meliputi:
 1. Menjelaskan tentang iradiator
 2. Menjelaskan tentang sumber radiasi untuk irradiator
 3. Menjelaskan tentang perisai radiasi
 4. Menjelaskan tentang kategori iradiasi
 5. Menjelaskan tentang kapasitas produksi iradiator

POKOK BAHASAN



Irradiator



Sumber Radiasi



Perisai Radiasi



Kategori Irradiator



Kapasitas
Produksi

1

IRADIATOR

IRADIATOR

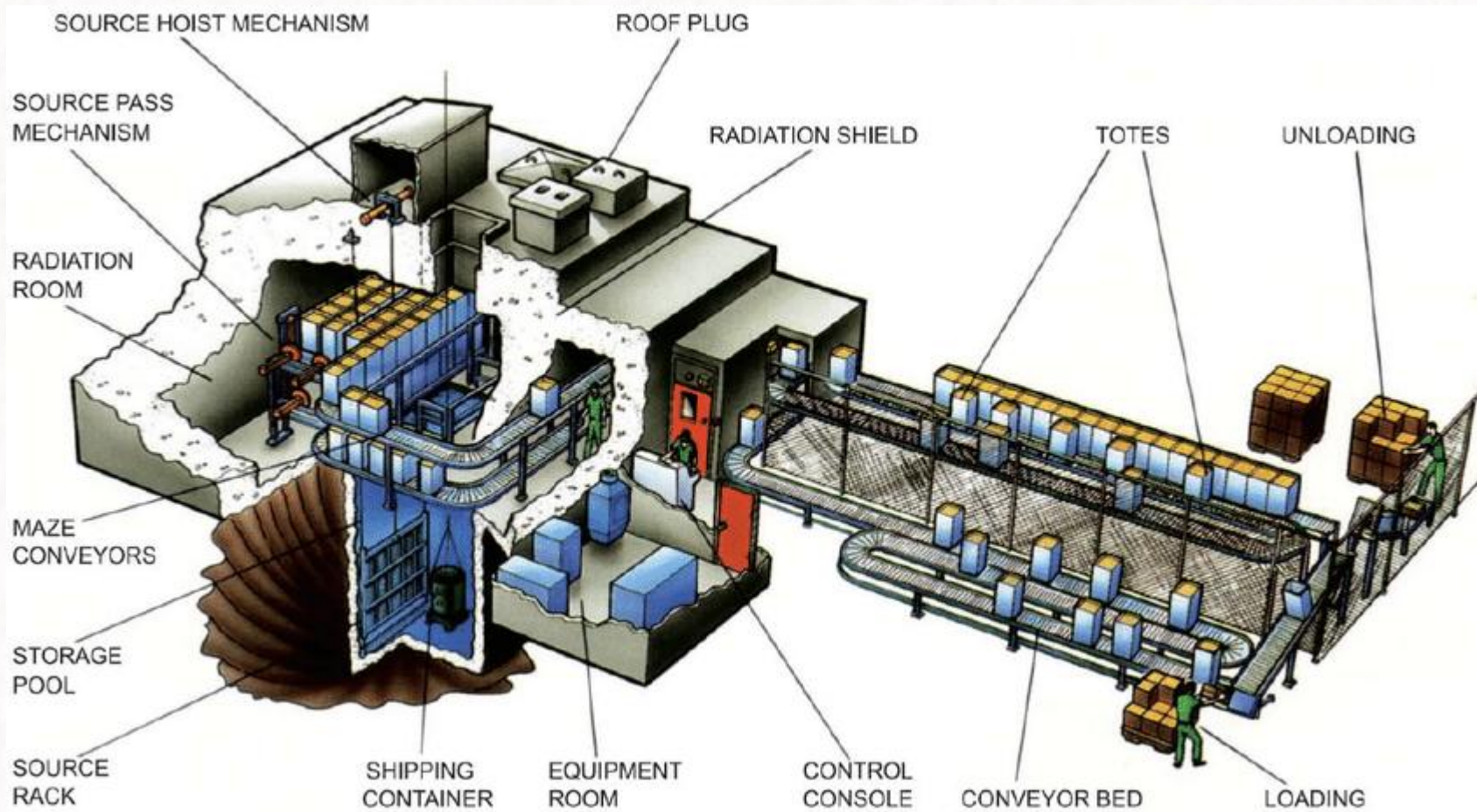


Iradiator adalah perangkat peralatan atau fasilitas yang berisi sumber radiasi terbungkus dan digunakan untuk iradiasi terhadap produk secara aman.

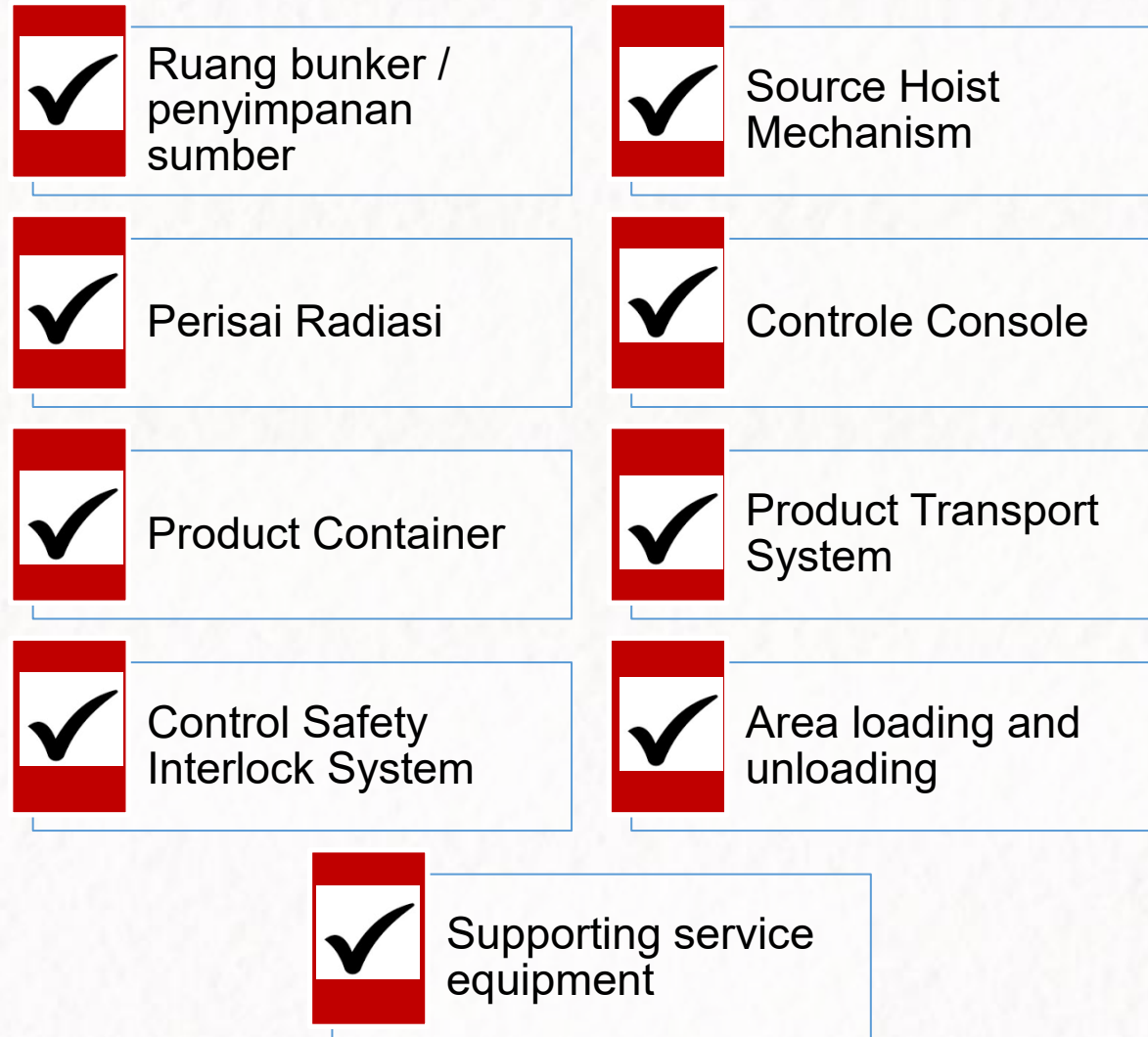


Iradiasi merupakan proses radiasi tepat mengenai sampel/produk dengan tepat dosis radiasi

IRADIATOR



IRADIATOR



IRADIATOR

Energi radiasi berupa gelombang elektromagnetik berhubungan dengan frekuensi dan panjang gelombang.

$$E = hf$$

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

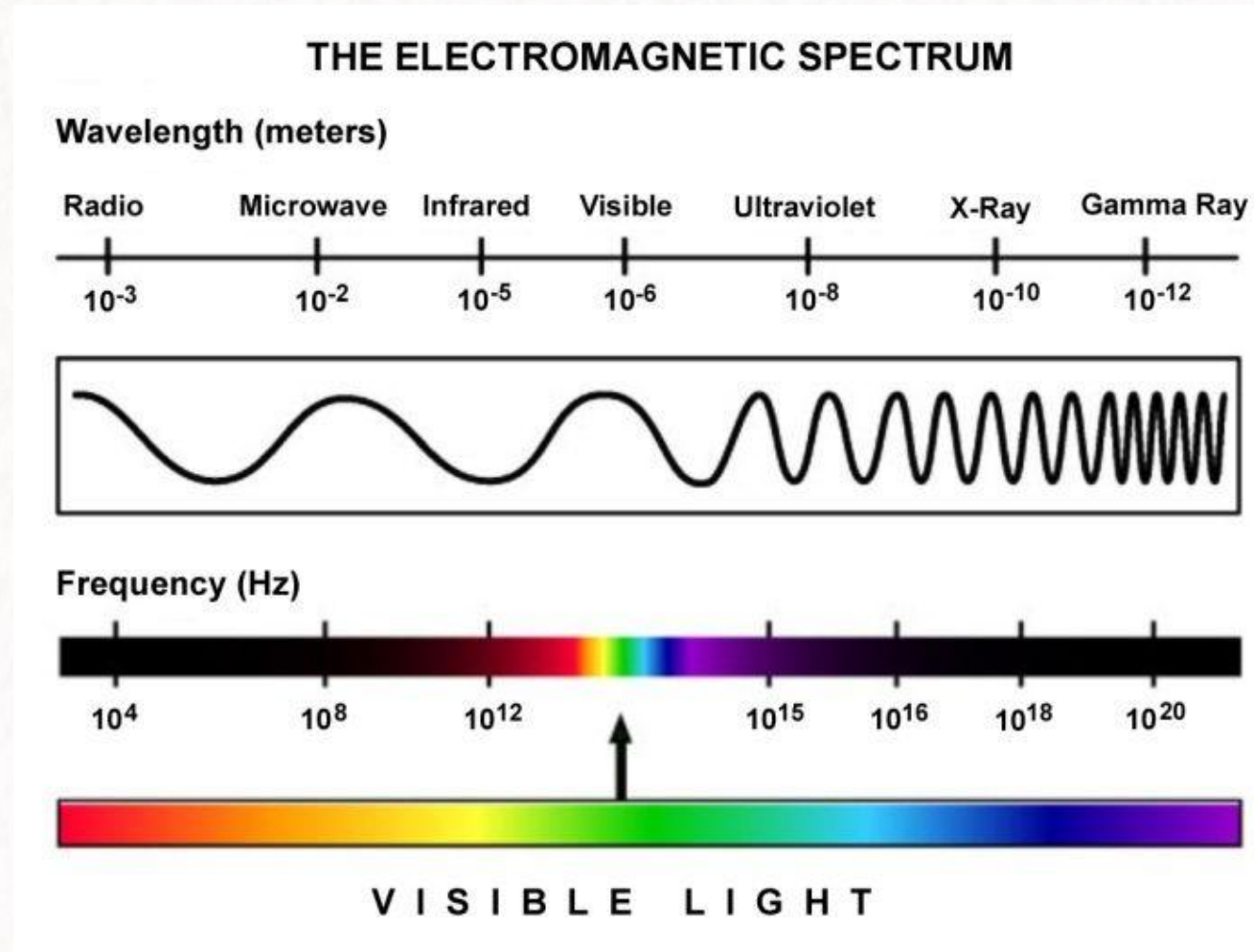
h = konstanta Planck $6,626 \times 10^{-34}$ J/s

f = frekuensi(s^{-1})

λ = panjang gelombang (m)

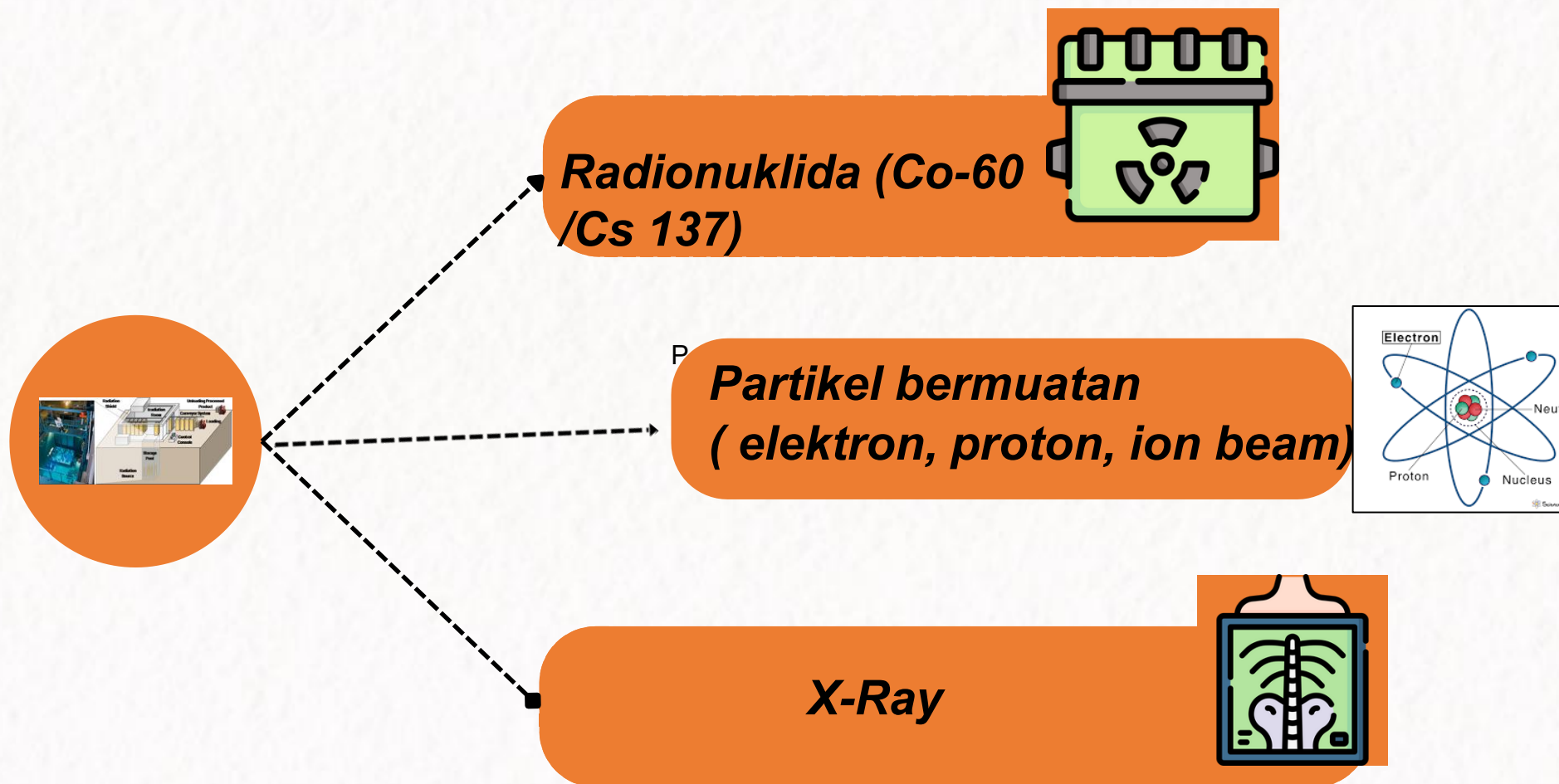
c = kecepatan cahaya, 3×10^8 m/s

IRADIATOR



2 SUMBER RADIASI

SUMBER RADIASI

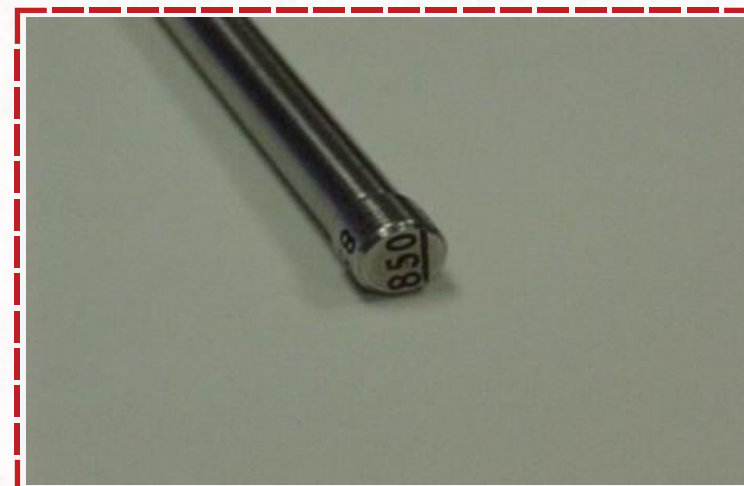


SUMBER RADIASI

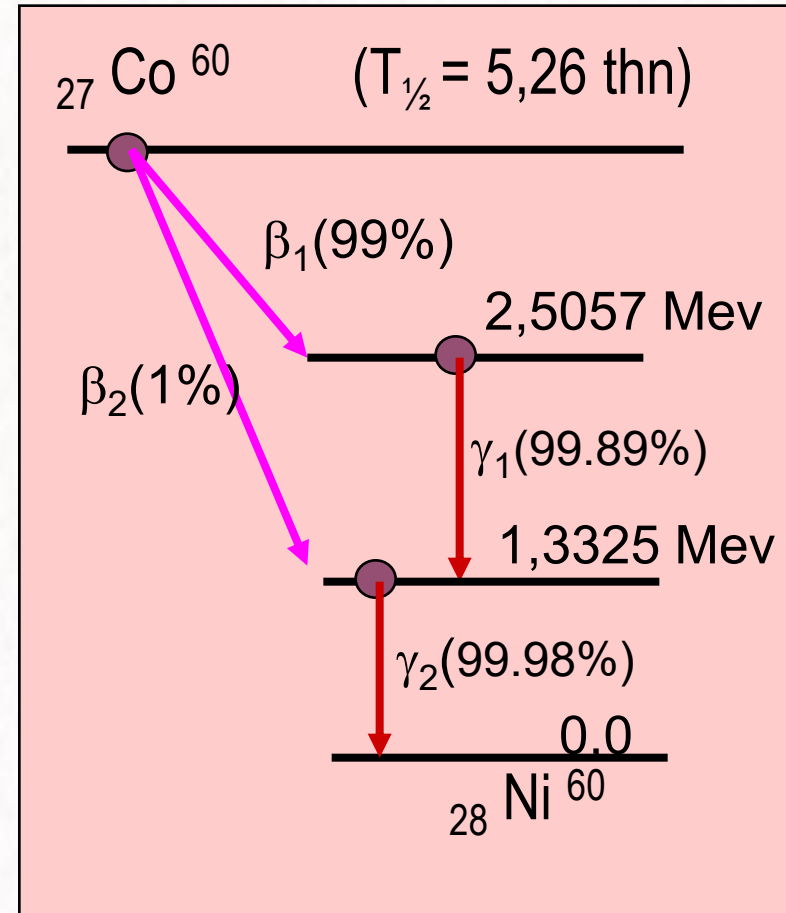
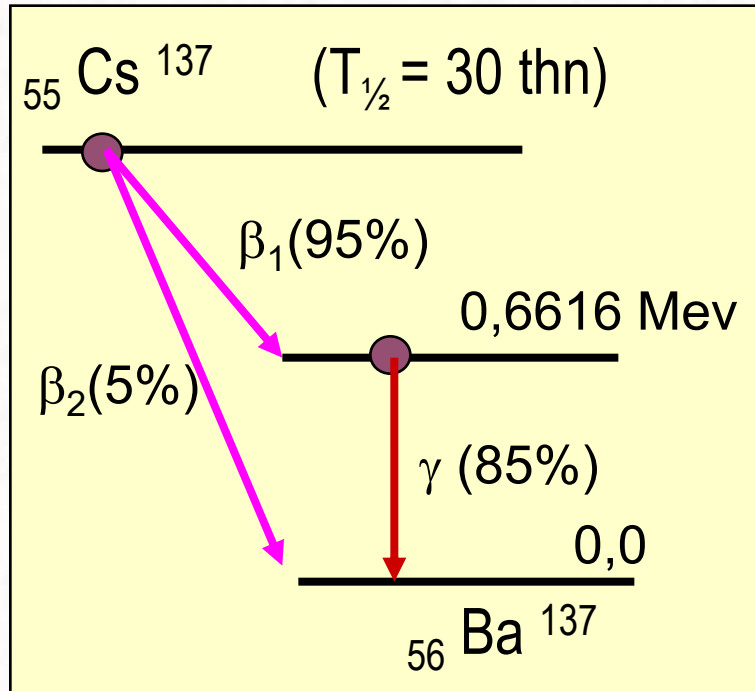
Zat radioaktif buatan



Co-60 & Cs-137



SKEMA PELURUHAN



SUMBER RADIASI

Penggunaan Co-60

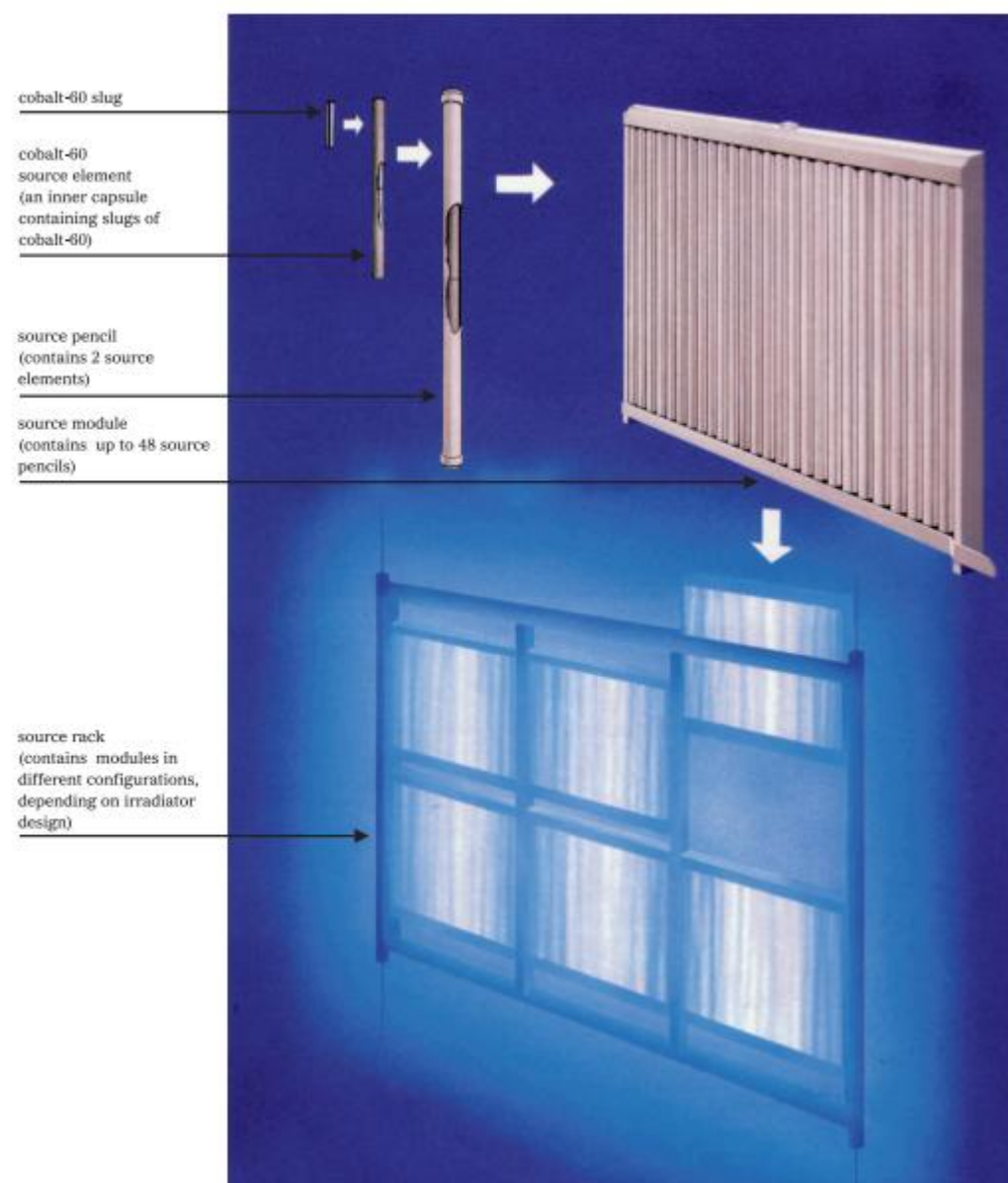
Foton yang dipancarkan menembus lebih dalam dibandingkan Cs-137

Co-60 bisa diproduksi untuk aktivitas spesifik tinggi

Dapat dibuat menjadi sumber yang simpel (lebih mudah dan aman digunakan)

Tidak larut dalam air (penyimpanan aman)





SUMBER RADIASI

Aktivitas Radioaktif

Inti tidak stabil



Inti stabil

$$\Delta N / \Delta t$$

peluruhan/waktu

Ket.

N jumlah inti atom yang tidak stabil saat pengukuran

λ konstanta peluruhan

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda \cdot N$$

SUMBER RADIASI

Aktivitas Radioaktif

Jumlah peluruhan yang terjadi dalam satu waktu, atau dengan kata lain laju peluruhan



$$A = \lambda \cdot N$$

SUMBER RADIASI

Aktivitas Radioaktif

$$N_t = N_o . e^{-\lambda t}$$

$$A_t = A_o . e^{-\lambda t}$$

Keterangan

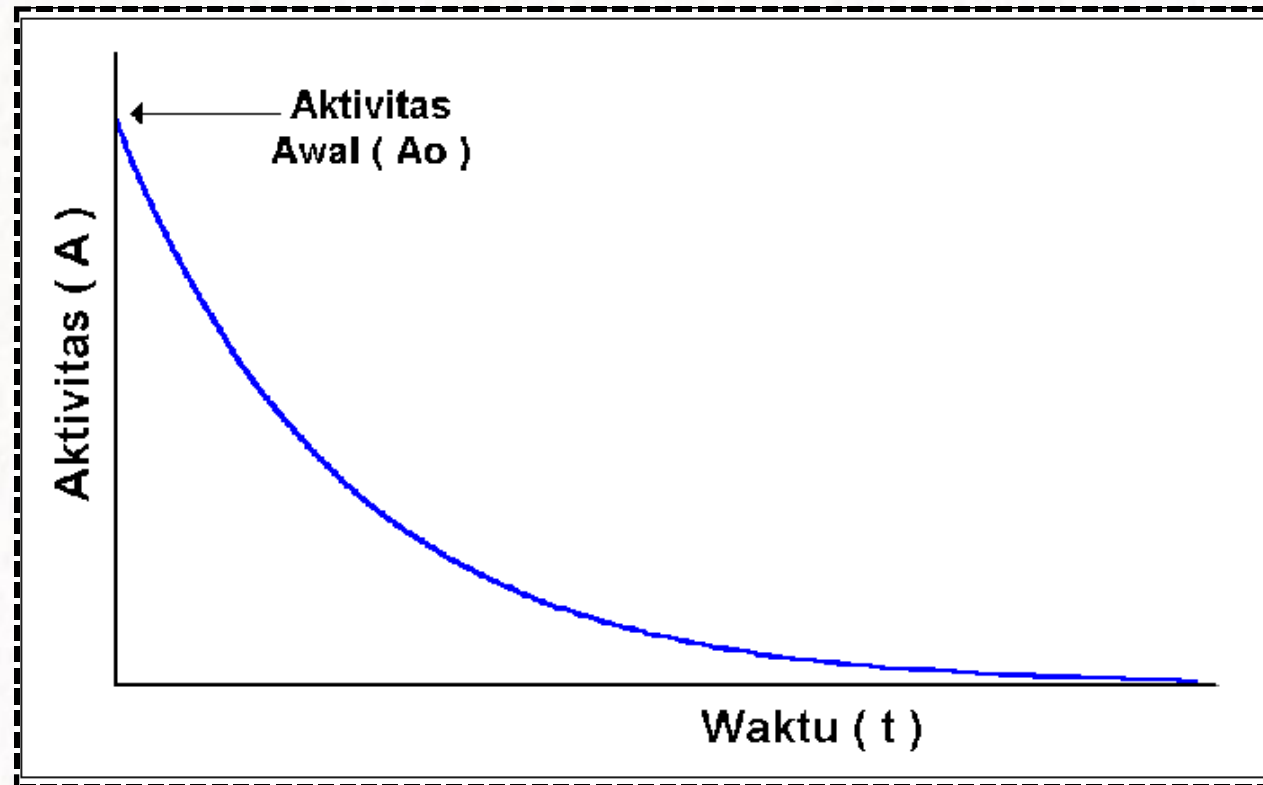
N	jumlah inti atom yang tidak stabil saat pengukuran
No	jumlah inti atom yang tidak stabil saat mula-mula
λ	konstanta peluruhan
t	selang waktu antara saat mula-mula sampai saat pengukuran

Keterangan

At	Aktivitas pada saat t
Ao	Aktivitas mula-mula
λ	konstanta peluruhan
t	selang waktu antara saat mula-mula sampai saat pengukuran

SUMBER RADIASI

Aktivitas Radioaktif



Aktivitas radioaktif sebagai fungsi dari waktu

SUMBER RADIASI

Satuan Aktivitas

- **Currie (Ci)** **satuan lama**
- **Becquerrel (Bq)** **satuan baru (SI)**

1 Bq = 1 peluruhan per detik

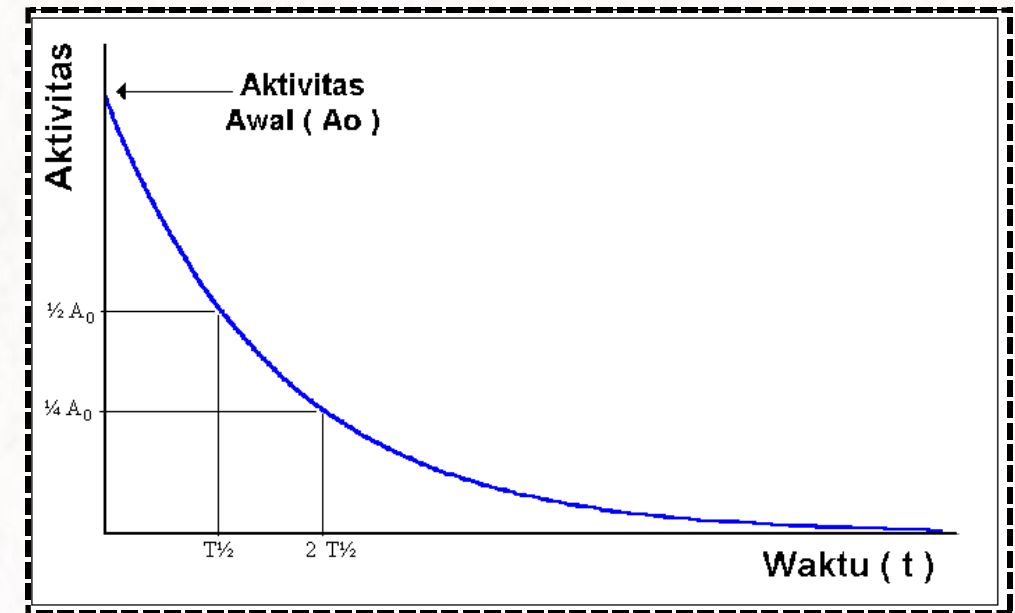
1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq

SUMBER RADIASI

Waktu Paruh

Selang waktu yang dibutuhkan agar nilai aktivitas suatu radioaktif menjadi setengah dari nilai aktivitas mula-mula

$T_{1/2}$ Co-60 : 5,27 tahun
 $T_{1/2}$ Cs-137 : 30,17 tahun



Aktivitas radioaktif setelah n umur paro

SUMBER RADIASI

Waktu Paruh

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$A_t = \left(\frac{1}{2} \right)^n \cdot A_o$$

$$n = \frac{t}{T_{1/2}}$$

SUMBER RADIASI

Aktivitas Radioaktif

$$N_t = N_o \cdot e^{-\lambda t}$$

$$N_t = N_o \cdot (1/2)^n$$

$$N_t = N_o \cdot (1/2)^{t/t_{1/2}}$$

$$A_t = A_o \cdot e^{-\lambda t}$$

$$A_t = A_o \cdot (1/2)^n$$

$$A_t = A_o \cdot (1/2)^{t/t_{1/2}}$$



SUMBER RADIASI

ADA PERTANYAAN ?

LATIHAN SOAL

1. Aktivitas Ir-192 pada tanggal 1 Oktober 2024 adalah 100 MBq. Hitung aktivitas pada tanggal 28 Februari 2025 ! (Umur paruh ($T_{1/2}$) 74 hari)

$$t = 148 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{t}{T_{1/2}} \\ &= 148/74 \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t_t} &= \left(\frac{1}{2} \right)^n \cdot A_o \\ &= \left(\frac{1}{2} \right)^2 \cdot 100 \text{ MBq} \\ &= 25 \text{ MBq} \end{aligned}$$

LATIHAN SOAL

2. Jika Aktivitas Sumber Gamma CO-60 bulan Juli 2024 sebesar 200 kCi, berapa besar aktifitas sumber CO-60 pada bulan September 2028 ?

$$t = 51 \text{ bulan} = 4,25 \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{t}{T_{1/2}} \\ &= 4,25 / 5,27 \\ &= 0,8064 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{t_t} &= \left(\frac{1}{2} \right)^n \cdot A_o \\ &= \left(\frac{1}{2} \right)^{0,8054} \cdot 200 \text{ kCi} \\ &= 114,44 \text{ kCi} \end{aligned}$$

LATIHAN SOAL

3. Suatu bahan radioaktif mempunyai aktivitas 100 MBq pada pukul 08.00 WIB. Sedangkan pada pukul 14.00 WIB aktivitasnya tinggal 25 MBq. Berapa umur paro ($T_{1/2}$) bahan radioaktif tersebut?

- $t = 6 \text{ jam}$
- $A_t = (1/2)^n \cdot A_o$
- $A_t / A_o = (1/2)^n$
- $25/100 = (1/2)^n$
- $1/4 = (1/2)^n$
- $n = 2$

$$n = t/T_{1/2}$$

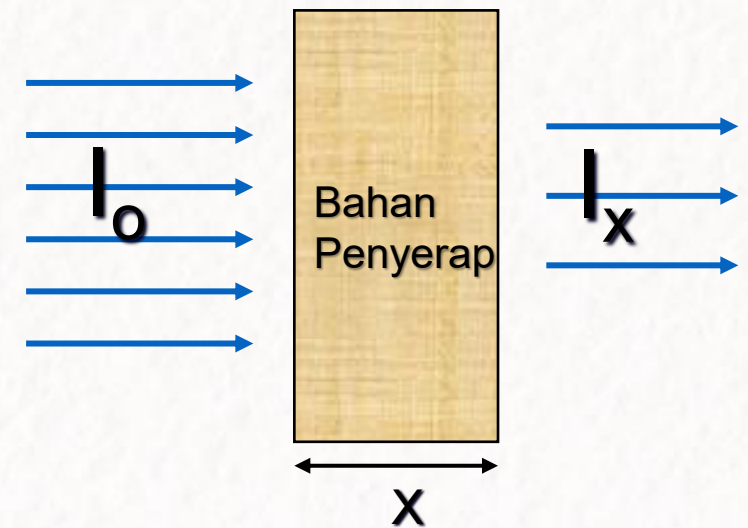
$$T_{1/2} = t/n = 6/2 = 3 \text{ jam}$$

3 PERISAI RADIASI

PERISAI RADIASI

Hukum Eksponensial Perisai Radiasi

Perisai radiasi merupakan bahan yang diletakkan di antara sumber radiasi dan bahan atau orang, untuk menyerap radiasi sehingga mengurangi intensitas radiasi.



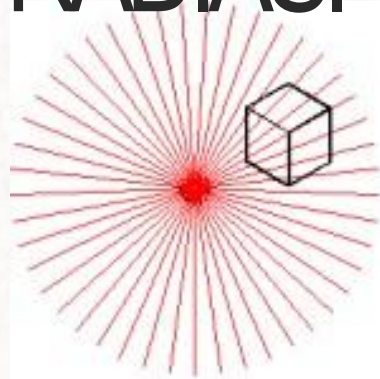
Fungsi eksponensial

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

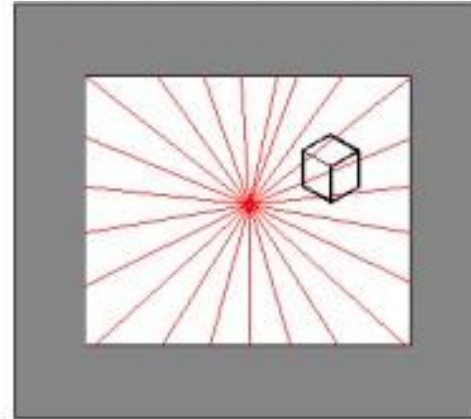
PERISAI RADIASI

Jenis Radiasi	Bahan Yang Direkomendasikan
Sumber radiasi alpha	Tidak perlu penahan
Sumber radiasi beta En rendah	Bahan bernomor atom rendah (perspeks, alumunium)
Sumber radiasi beta En tinggi	Bahan bernomor atom rendah dan tinggi (Perspeks dikelilingi timbal)
Sinar X dan Sinar Gamma	Bahan bernomor atom tinggi (Beton, besi, dan timbal), air demineral
Neutron	Bahan dengan kandungan Hidrogen tinggi (Beton, air, polietilen, parafin dikombinasikan dengan boron)

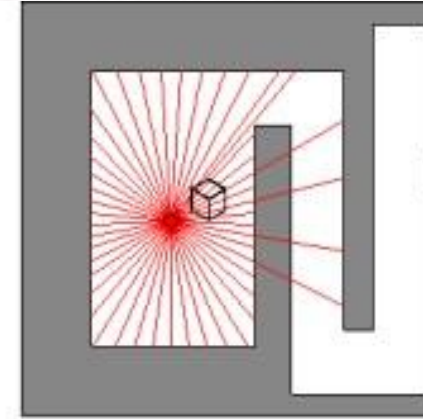
PERISAI RADIASI



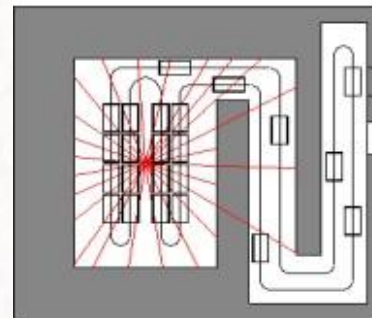
SOURCE-PRODUCT



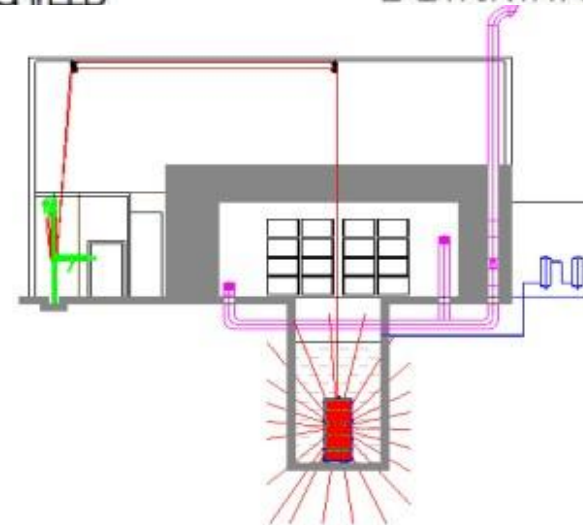
CONCRETE SHIELD



LABYRINTH ACCESS



CONTINUOUS CONVEYING



SOURCE-STORAGE , VENTILATION,
SOURCE RAISE SYSTEM, D.M. WATER
ACCESS CONTROL INTERLOCKS

4

KATEGORI IRADIATOR

KATEGORI IRADIATOR

Prinsip utama desain irradiator

1. Pemanfaatan maksimal energi radiasi
2. Dosis seragam pada produk
3. Memastikan pengoperasian yang aman dan mudah

KATEGORI IRADIATOR

Dasarnya iradiator gamma terbagi menjadi 2



Self-contained
irradiator (kategori 1
dan III) = **Penelitian
dan dosis kecil**



Panoramic Irradiator
(kategori II dan IV) :
Industri

KATEGORI IRADIATOR



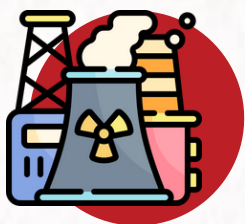
Kategori I

self-contained, dry storage irradiator



Kategori II

panoramic, dry storage irradiator



Kategori III

self- contained, wet storage irradiator



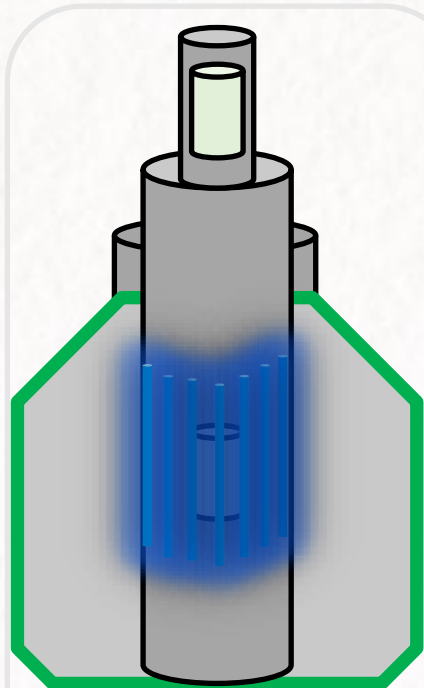
Kategori IV

panoramic, wet storage irradiator

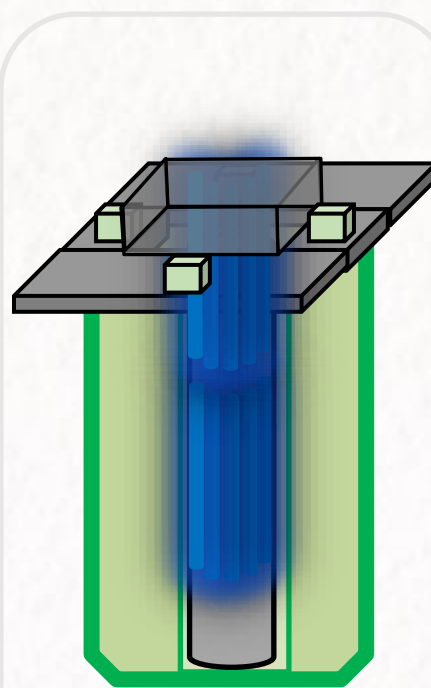
KATEGORI IRADIATOR MENURUT IAEA

(IAEA-Safety Standards No.8)

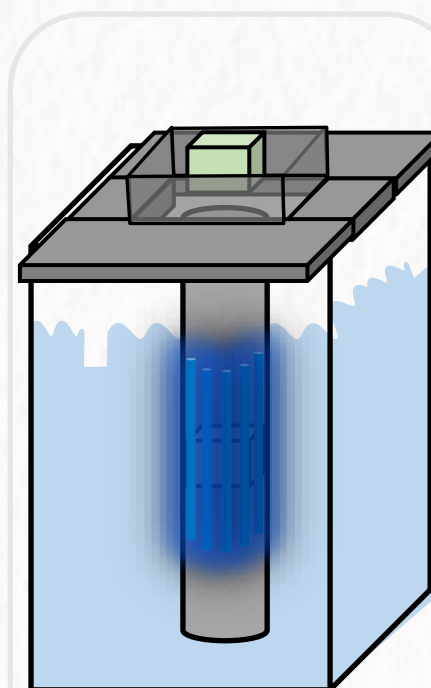
Kategori Irradiator Gamma	Kategori I	Kontainer kering, sumber diam, sampel bergerak
	Kategori II	Kontainer kering, sumber bergerak, sampel diam
	Kategori III	Kontainer basah, sumber diam, sampel bergerak
	Kategori IV	Kontainer basah, sumber bergerak, sampel diam



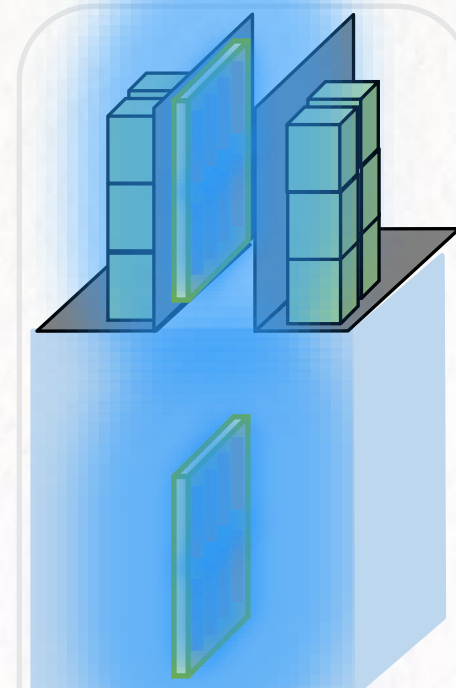
Kategori I



Kategori II



Kategori III



Kategori IV

KATEGORI IRADIATOR



Kategori I

self-contained, dry storage irradiator

- ✓ Iradiator bersifat portabel
- ✓ Sumber tersimpan dalam kontainer penahan
- ✓ Ruang radiasi terbatas, ukuran sampel terbatas 2 Lt
- ✓ Keseragaman dosis mendekati 1
- ✓ Aktivitas maksimum +/- 10 kCi



KATEGORI IRADIATOR



Kategori II

panoramic, dray storage irradiator

- ✓ Sistem kendali dan keamanan tertentu terkait dengan akses personel dan transportasi sampel
- ✓ Sumber tersimpan dalam kontainer
- ✓ Desain kontainer dengan bentuk sirip bagian luar mengurangi akumulasi energi panas pada sumber radiasi pada posisi penyimpanan
- ✓ Ruang radiasi luas, ukuran produk menyesuaikan
- ✓ Aktivitas maksimum +/- 100 kCi



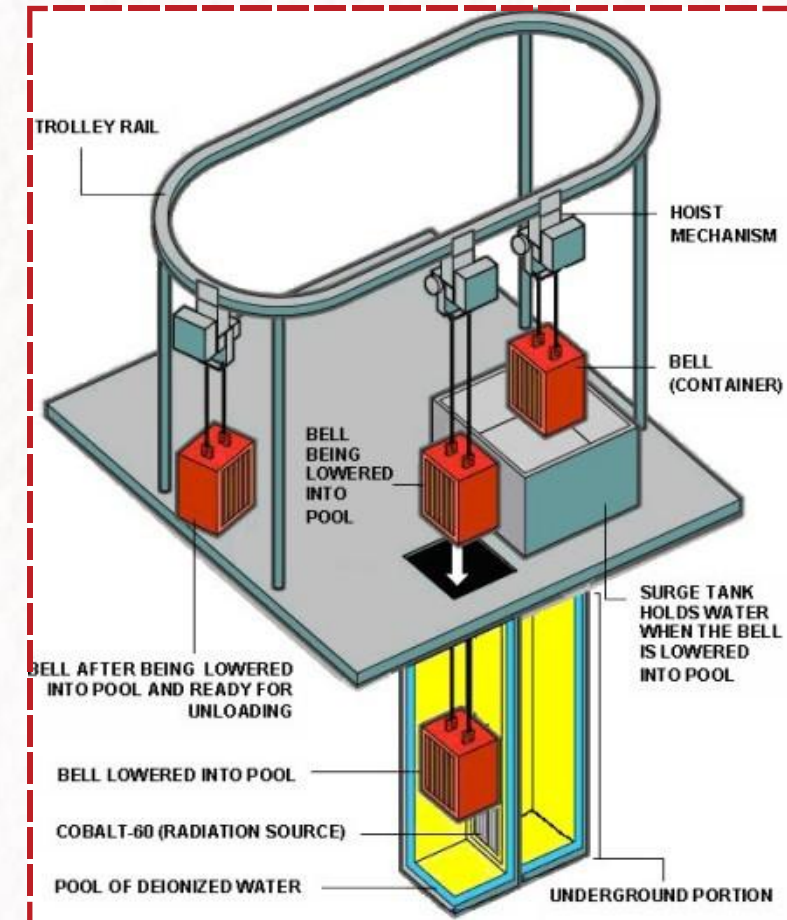
KATEGORI IRADIATOR



Kategori III

self- contained, wet storage irradiator

- ✓ Iradiator dengan sistem penyimpanan basah
- ✓ Sumber tetap dalam kolam selama proses radiasi
- ✓ Akses personel dimungkinkan disekitar permukaan kolam



KATEGORI IRADIATOR



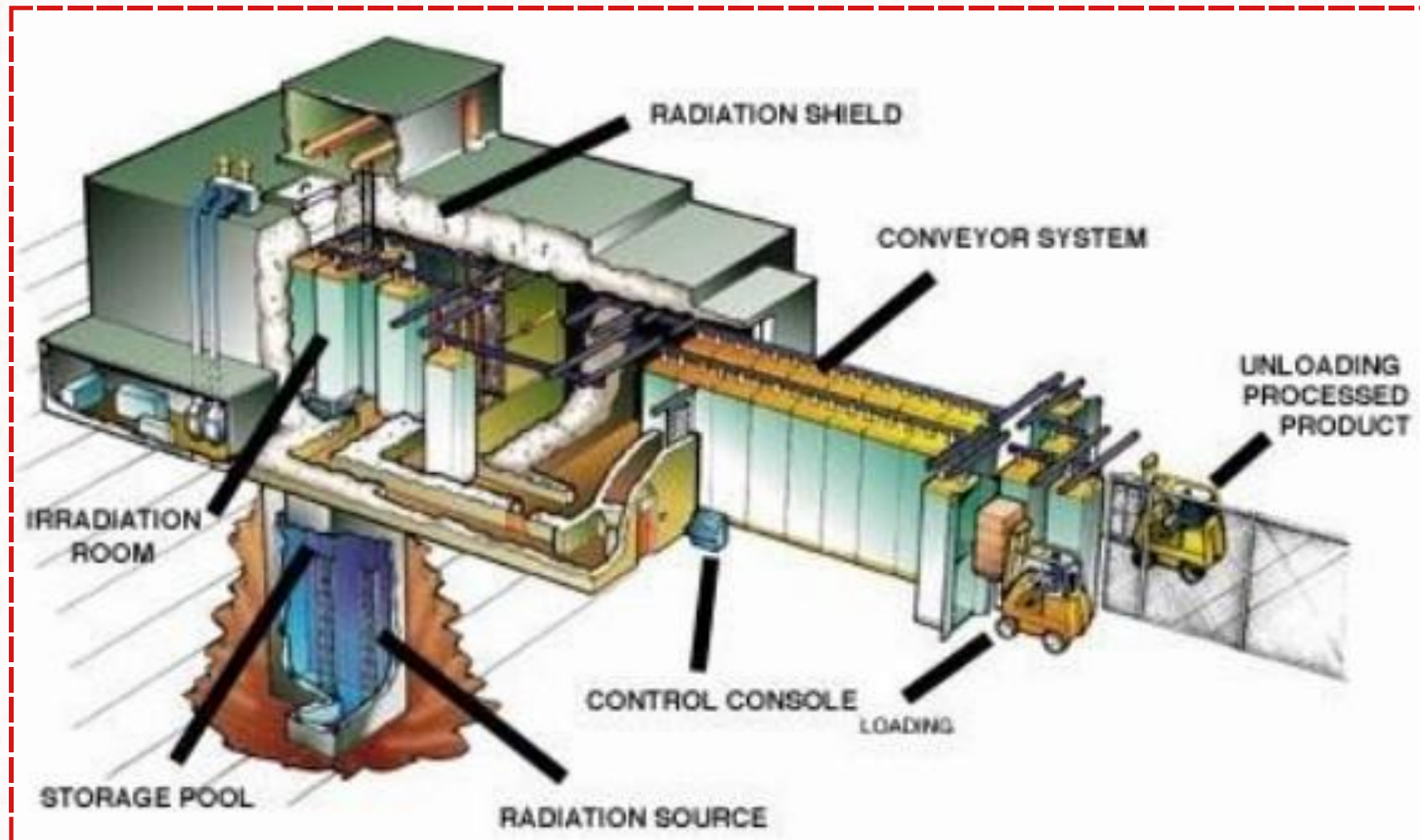
Kategori IV

panoramic, wet storage irradiator

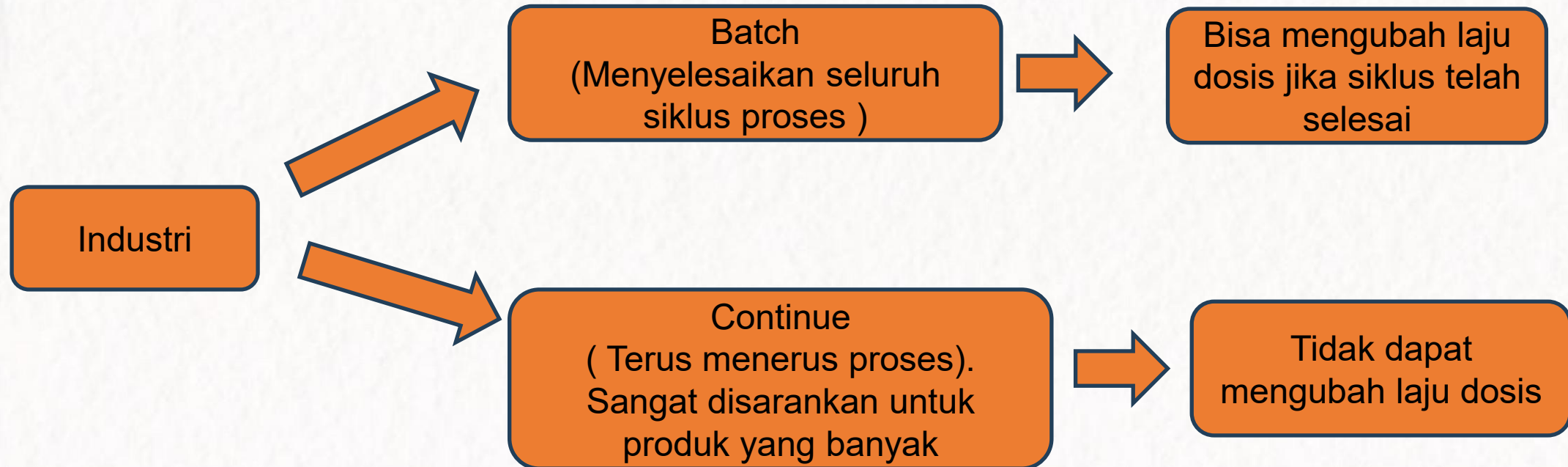
- ✓ Iradiator dengan sistem penyimpanan basah
- ✓ Sumber digerakkan ke permukaan, expose produk
- ✓ Ruang radiasi luas, ukuran produk mengikuti tote
- ✓ Terdapat sistem transportasi produk (*conveyor*)
- ✓ Kapasitas sumber mencapai Mega Cii



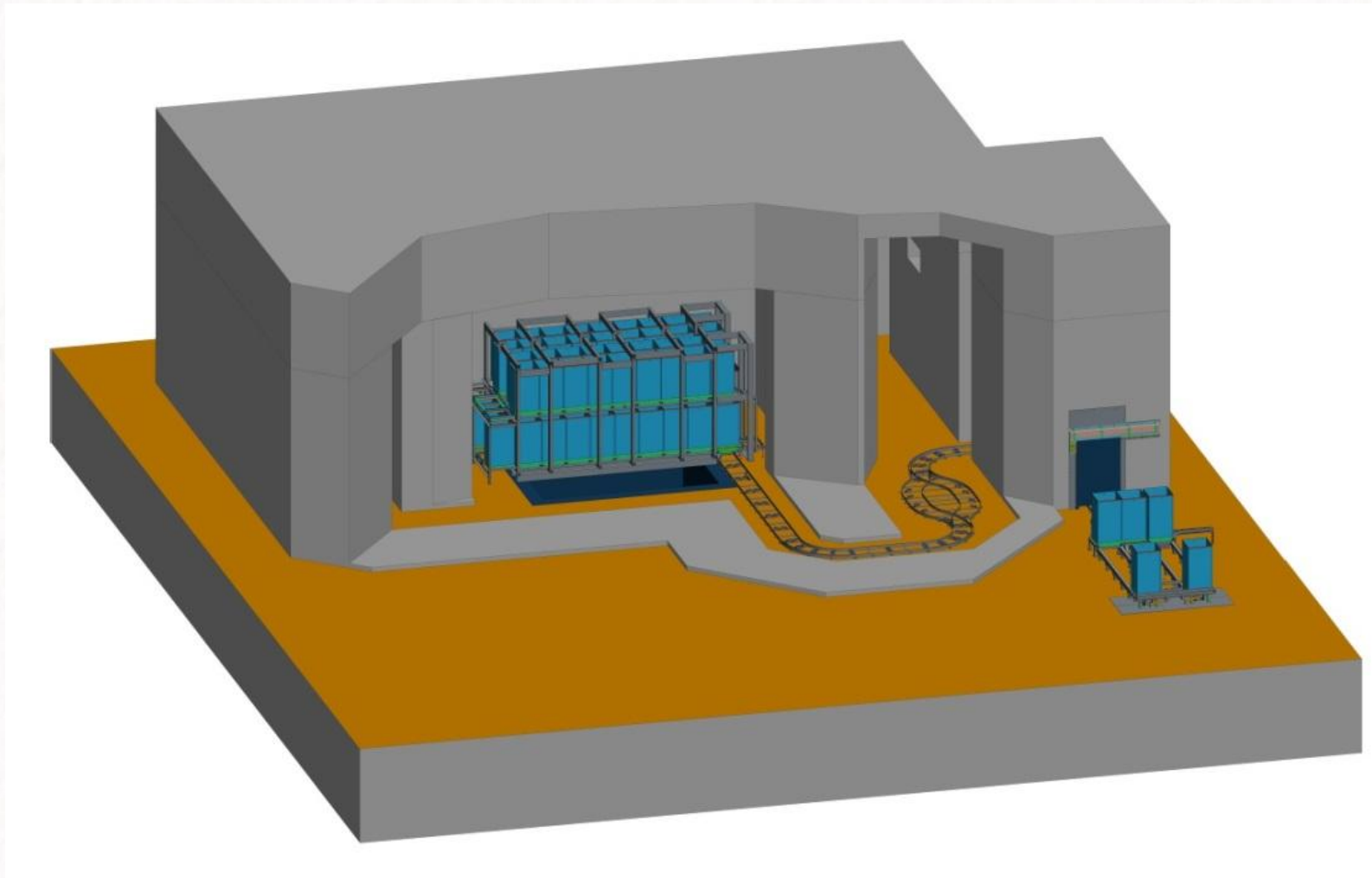
KATEGORI IRADIATOR



KATEGORI IRADIATOR



KATEGORI IRADIATOR



KATEGORI IRADIATOR

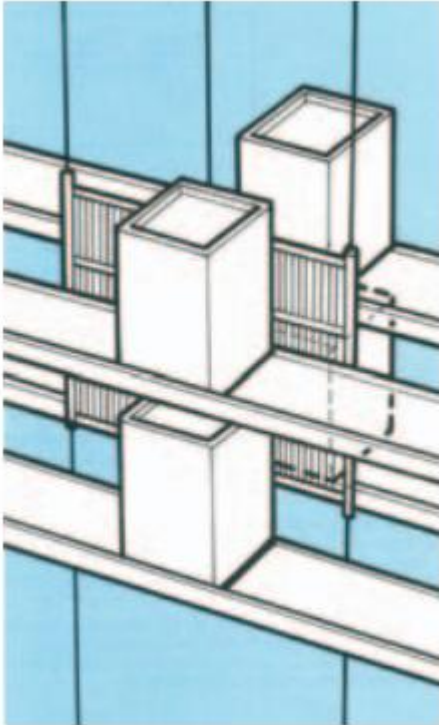


Tote



Source Rack /
Rak Sumber

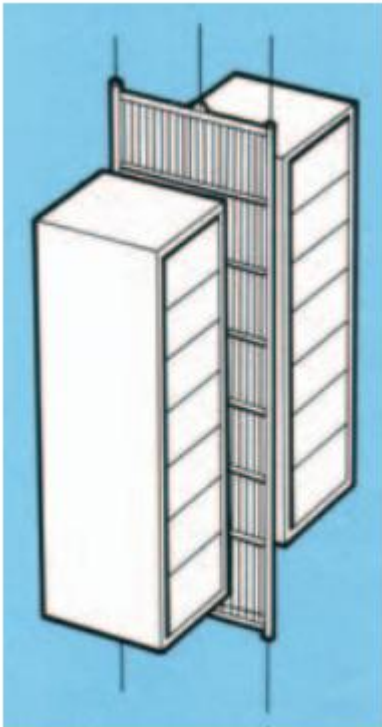
KATEGORI IRADIATOR



Product overlap

- Tinggi atau lebar tote lebih besar dibandingkan tinggi atau lebar rak sumber
- Efisiensi pemanfaatan energi radiasi
- Keseragaman dosis oke
- Mekanisme transport tote lebih kompleks

KATEGORI IRADIATOR



Source overlap

- Tinggi atau lebar tote lebih kecil dibandingkan tinggi atau lebar rak sumber
- Kurang efisien dalam pemanfaatan energi radiasi
- Keseragaman dosis oke
- Mekanisme transport tote sederhana

5

KAPASITAS PRODUKSI IRADIATOR

Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi terkait dengan efisiensi suatu iradiator dipengaruhi oleh beberapa faktor yang menjadi salah satu dasar pertimbangan dalam desain dan pembangunan iradiator



Produk yang akan diradiasi

(jenis produk, densitas, dosis iradiasi, keseragaman dosis)



Sistem Konveyor/ transport

konfigurasi dan jumlah tote box di dalam ruang iradiasi, ukuran tote box (product overlap, source overlap)



Aktivitas sumber radiasi

(aktivitas sumber, ukuran sumber, konfigurasi sumber radiasi)

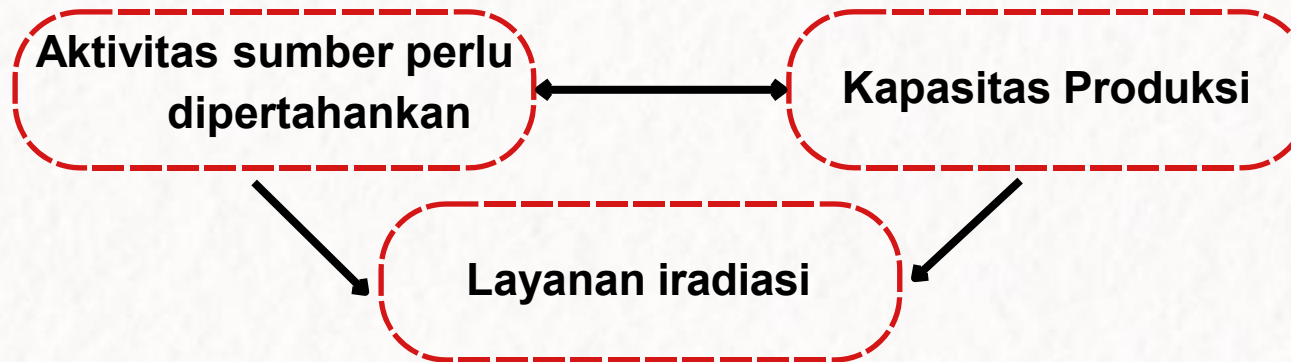


Sistem pengoperasian

(sistem batch, system kontinu)

Kapasitas Produksi

Penambahan Sumber Radiasi



- ✓ Penambahan sumber (pensil jumlah tertentu)
- ✓ Konfigurasi sumber
- ✓ Aktivitas sumber merata



Kapasitas Produksi

Penambahan Sumber Radiasi

Setiap pensil sumber radiasi memiliki identitas yang dibuat oleh pabrikan yang terdiri dari type pensil dan nomor seri.

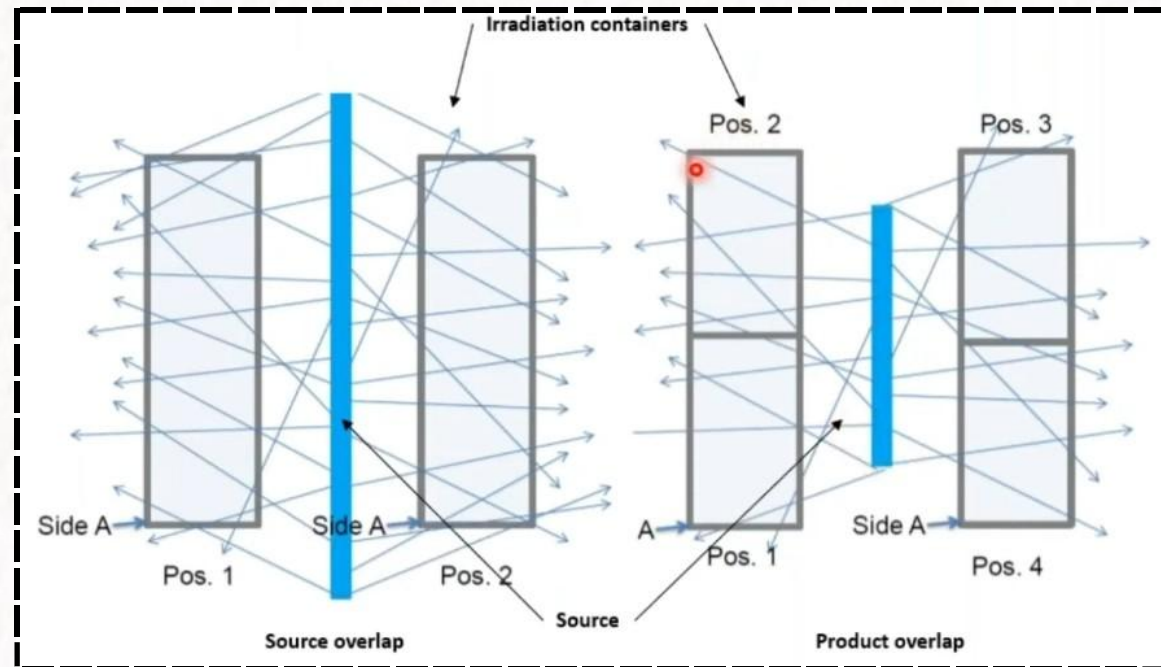


Identitas pensil ini bagi pabrikan dikaitkan dengan dokumen pembuatan dan sertifikat dari setiap pensil

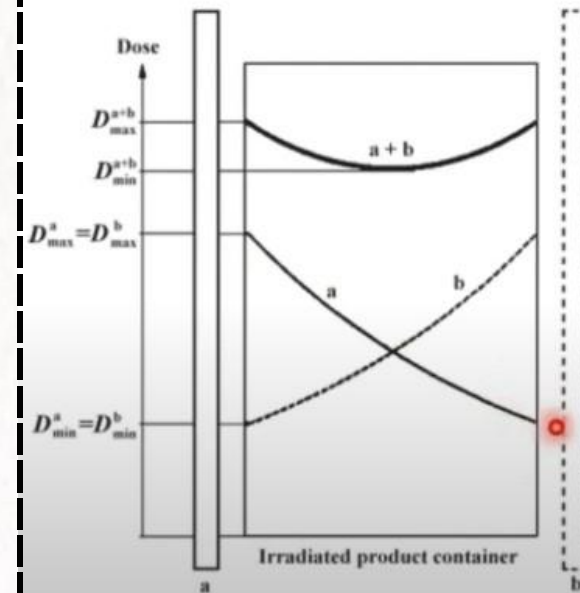


Ketika dilakukan penambahan sumber no seri diperlukan untuk mengetahui aktivitas yang masih tersisa dari tiap pensil sehingga keseluruhan pensil dapat dikonfigurasi dengan benar

GEOMETRI SUMBER



$$\text{DUR (Dose Uniformity Ratio)} = D_{\text{max}} / D_{\text{min}}$$



Kapasitas Produksi

- Contoh kasus
 1. Irradiator gamma merah memiliki 72 tote yang mampu menampung produk per tote sebesar 80 kg. Umumnya produk diiradiasi pada dosis 25 kGy dengan tujuan sterilisasi. Laju dosis iradiasi pada saat bulan ini 10 kGy/ jam. Hitung kapasitas produksi dengan mode pengoperasian continue.

Jawab :

- Kapasitas seluruh tote = $72 \times 80 \text{ kg} = 5760 \text{ kg}$
- Waktu iradiasi = $\text{dosis iradiasi} / \text{laju dosis iradiasi}$

Waktu iradiasi = $25/10 = 2,5 \text{ jam}$.

- Kapasitas produksi = $5760 \text{ kg} / 2,5 \text{ jam} = 2304 \text{ kg/jam}$

Kapasitas Produksi

- Contoh kasus
 1. Irradiator gamma merah memiliki 72 tote yang mampu menampung produk per tote sebesar 80 kg. Umumnya produk diiradiasi pada dosis 25 kGy dengan tujuan sterilisasi. Laju dosis iradiasi pada saat bulan ini 10 kGy/ jam. Hitung kapasitas produksi dengan mode pengoperasian batch.

Jawab :

- Kapasitas seluruh tote = $72 \times 80 \text{ kg} = 5760 \text{ kg}$
- Waktu iradiasi = $\text{dosis iradiasi} / \text{laju dosis iradiasi}$

Waktu iradiasi = $25/10 = 2,5 \text{ jam}$.

- Dikarenakan mode batch, maka ada waktu untuk bongkar muat keseluruhan tote. Waktu yang diperlukan bongkar muat 72 tote = 1,5 jam
- Kapasitas produksi = $5760 \text{ kg} / (2,5 \text{ jam} + 1,5 \text{ jam}) = 1440 \text{ kg/jam}$



PERISAI RADIASI

ADA PERTANYAAN ?

RANGKUMAN

Irradiator adalah perangkat peralatan atau fasilitas yang berisi sumber radiasi terbungkus dan digunakan untuk iradiasi terhadap produk secara aman

Sumber radiasi yang digunakan adalah Co-60 atau Cs-137

Perisai radiasi merupakan bahan yang diletakkan di antara sumber radiasi dan bahan atau orang, untuk menyerap radiasi sehingga mengurangi intensitas radiasi. Bahan penyerap gamma adalah beton, besi, timbal, air demineral

RANGKUMAN

Terdapat 4 kategori irradiator

1. Kategori 1 : ***self-contained, dry storage irradiator***
2. Kategori 2 : ***panoramic, dry storage irradiator***
3. Kategori 3 : ***self- contained, wet storage irradiator***
4. Kategori 4: ***panoramic, wet storage irradiator***

Kapasitas produksi bergantung pada produk yang diiradiasi, aktivitas sumber radiasi, sistem transport produk dan sistem pengoperasian

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