
DAFTAR ISI

	Halaman
BAB PENDAHULUAN	1
BAB I. SUMBER RADIASI.....	2
A. Cobalt-60 dan Cesium 137	2
B. Aktivitas Radioaktiv.....	3
C. Waktu Paruh.....	4
BAB II. PERISAI RADIASI.....	7
A. Hukum Exsponensial	7
B. Hukum Kuadrat Terbalik	10
BAB III. KATEGORI IRADIATOR	11
A. Kategori I	11
B. Kategori II	12
C. Kategori III	14
D. Kategori IV.....	15
BAB IV. KAPASITAS PRODUKSI IRADIATOR	16
A. Kapasitas Produksi	16
B. Penambahan Sumber Radiasi	17
c. Identitas Pensil Sumber Radiasi	17
RANGKUMAN.....	18
DAFTAR PUSTAKA	20

BAB

PENDAHULUAN

Iradiator adalah perangkat peralatan atau fasilitas berisi sumber radiasi tertutup yang digunakan untuk iradiasi terhadap produk secara aman. Komponen utama iradiator gamma terdiri dari sumber radiasi, perisai radiasi, sistem transportasi produk, dan sistem kendali. Berdasarkan perbedaan desain dari komponen utama tersebut, iradiator dibedakan dalam 4 kategori, yaitu: iradiator kategori I (*self-contained, dray storage irradiator*), iradiator kategori II (*panoramic, dray storage irradiator*), iradiator kategori III (*self-contained, wet storage irradiator*), dan iradiator kategori IV (*panoramic, wet storage irradiator*)

Dalam diktat ini akan dibahas secara umum mengenai sumber radiasi yang digunakan, perisai radiasi, kategori iradiator, kapasitas produksi, dan penambahan sumber radiasi

BAB I

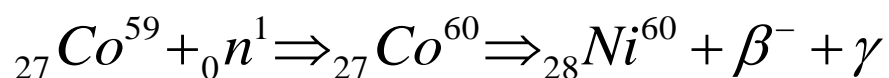
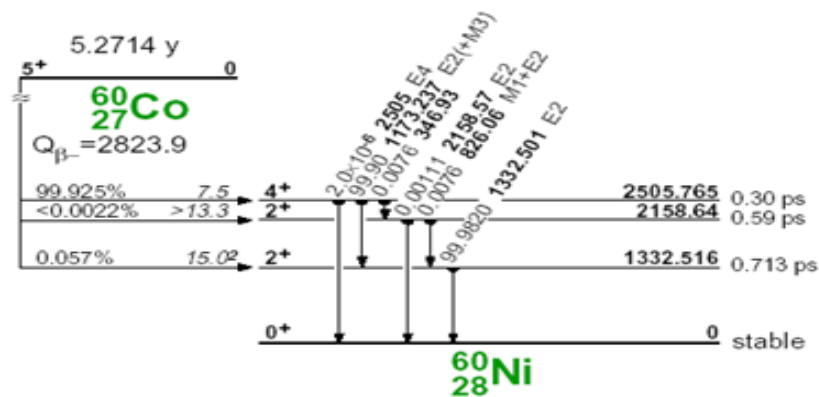
SUMBER RADIASI GAMMA

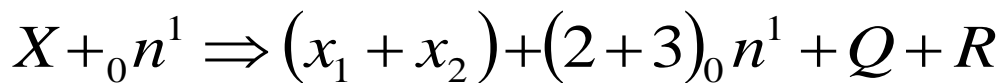
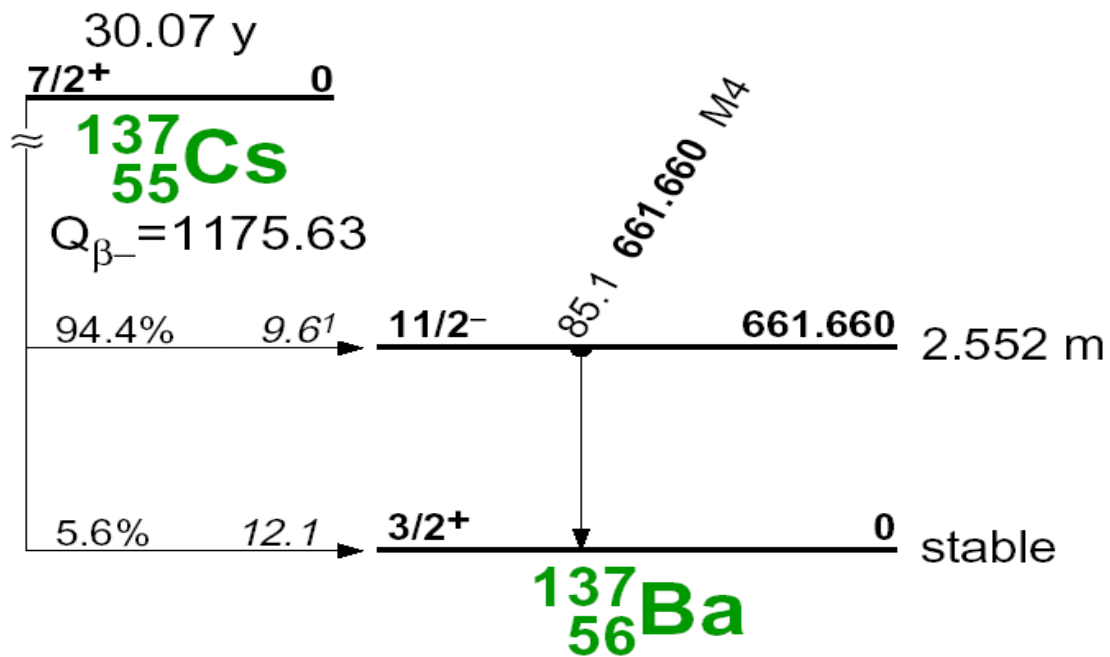
A. Cobalt-60 dan Cesium-137

Sumber radiasi untuk iradiator gamma dapat menggunakan Co-60 atau Cs-137. Pada umumnya digunakan Co-60 dengan beberapa kelebihan dibandingkan Cs-137 jika ditinjau dari :

- Energi
- Fabrikasi
- Kelarutan dalam air

Zat radioaktiv tekungku dengan *cladding material*: bahan selongsong materi membungkus Co-60 untuk memberikan perlindungan dari pengaruh lingkungan reaktif kimiawi maupun sebagai pendukung struktur.





Misalnya : X adalah U-235 dan salah satu produk fisinya Cs-137

B. Aktivitas Radioaktif

Aktivitas radioaktif didefinisikan sebagai jumlah atom suatu bahan radioaktif yang meluruh per satuan waktu. Dapat dirumuskan:

$$A = - (dN/dt) \dots \dots \dots (1)$$

dengan N adalah jumlah inti radioaktif dan t adalah waktu peluruhan.

Jumlah inti atom radioisotop yang meluruh sebanding dengan selang waktu dt selama peluruhan, dengan tetapan kesebandingan λ , yang dinamakan tetapan radioaktif sebagai ukuran laju peluruhan, yang ternyata hanya tergantung pada jenis radioisotop, dan tidak tergantung keadaan sekitarnya, serta tidak dapat dipengaruhi oleh apapun.

Peluruhan radioaktif dapat dituliskan dalam persamaan:

$$- (dN/dt) = \lambda \cdot N \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan (2) dapat diselesaikan dengan persamaan integral, sehingga diperoleh:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda \cdot t$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \dots\dots\dots(3a)$$

$$N_0 = \frac{N}{e^{-\lambda t}} \dots\dots\dots(3b)$$

Yang menunjukkan penurunan eksponensial terhadap waktu.

Satuan Radioaktivitas

Satuan radiasi ini merupakan satuan pengukuran yang digunakan untuk menyatakan aktivitas suatu radionuklida dan dosis radiasi ionisasi. Satuan SI untuk radioaktivitas adalah becquerel (Bq), merupakan aktivitas sebuah radionuklida yang meluruh dengan laju rata-rata satu transisi nuklir spontan per detik. Jadi,

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ peluruhan/detik}$$

Satuan yang lama adalah curie (Ci), di mana 1 curie setara dengan $3,70 \times 10^{10}$ Bq, atau $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10}$ Bq.

C. Waktu Paruh

Waktu paruh adalah waktu yang diperlukan oleh zat radioaktif untuk berkurang menjadi separuh (setengah) dari jumlah semula. Dengan mengetahui waktu paruh suatu unsur radioaktif, dapat ditentukan jumlah unsur yang masih tersisa setelah selang waktu tertentu.

Setiap unsur radioaktif mempunyai waktu paruh tertentu, misalnya karbon - 14 (C-14) memiliki waktu paruh 5.730 tahun

Dari persamaan (3a) maka:

untuk $t = T$ -----> $N = \frac{1}{2} N_0$

sehingga, $\frac{1}{2} N_0 = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

$$\lambda \cdot T = \ln 2$$

$$\lambda = 0,693/T$$

$$T = 0,693/\lambda \dots\dots\dots (4)$$

Dari persamaan (4), maka dapat ditentukan jumlah inti radioaktif setelah peluruhan maupun aktivitas radioaktif setelah peluruhan melalui persamaan:

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \dots\dots\dots (5)$$

$$A = A_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} \dots\dots\dots (6)$$

BAB II

PERISAI RADIASI

A. 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.

Hukum eksponensial yang menunjukkan pengurangan intensitas radiasi apabila melalui suatu materi, berlaku ketika berkas radiasi sejajar melewati bahan penahan yang tipis sehingga jumlah hamburan radiasi gamma sangat sedikit. Sebaliknya, radiasi yang terhambur dalam materi akan menjadi banyak bila bahan penahan semakin tebal. Intensitas yang dihasilkan akan lebih rendah daripada intensitas radiasi yang dihitung dengan hukum eksponensial. Pengaruh radiasi yang telah terhambur dikoreksi menggunakan koefisien *build up*. Koefisien *build up* bergantung pada energi radiasi, tebal materi yang dilewati dan geometri sumber radiasi. Koefisien *build up* tersebut merupakan nilai yang lebih besar dari 1, dan cenderung bertambah bila bahan penahannya semakin tebal.

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$

$$I' = B_i I_0 e^{-\mu t}$$

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

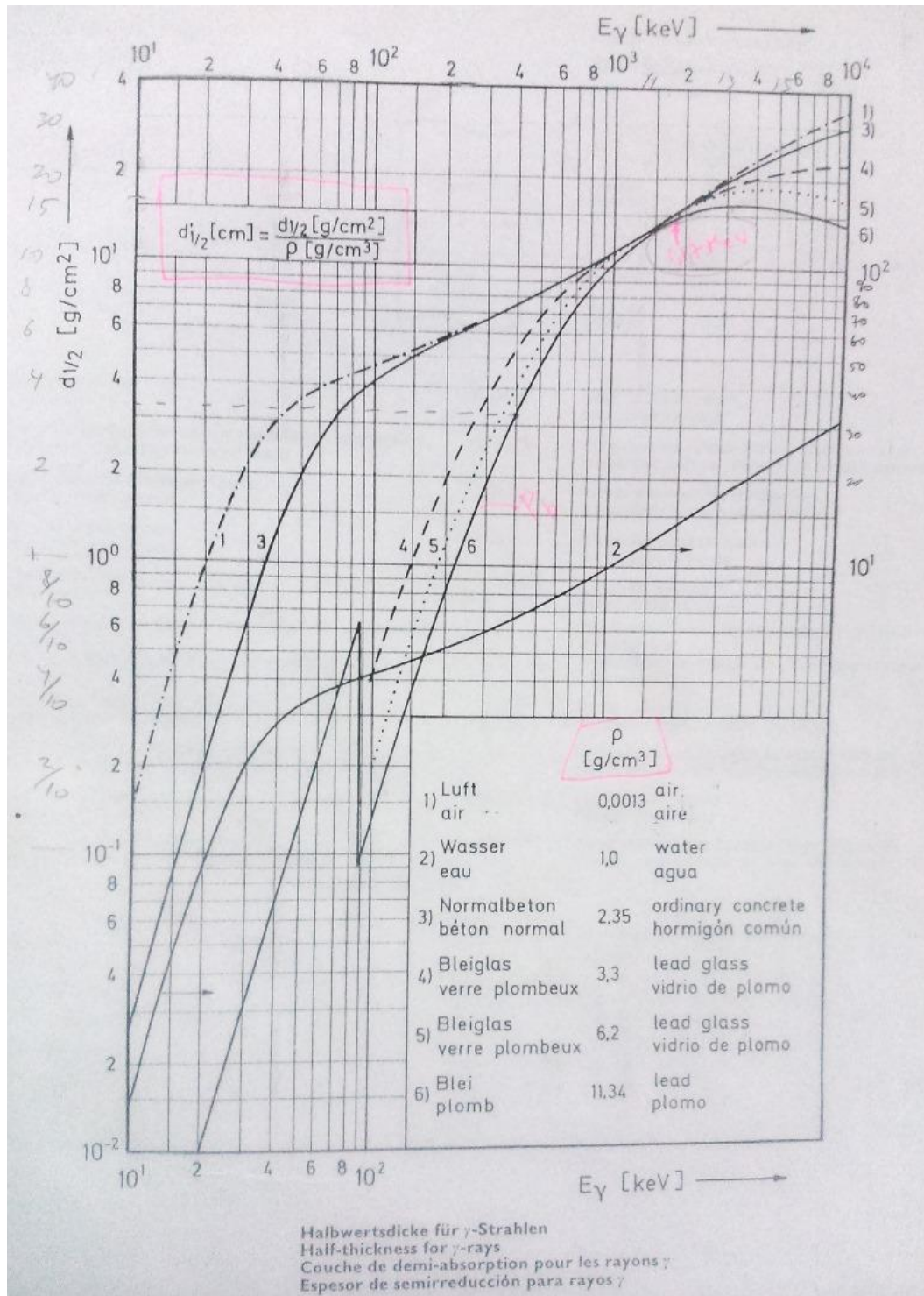
μ : koefisien attenuasi linear

t : tebal perisai radiasi

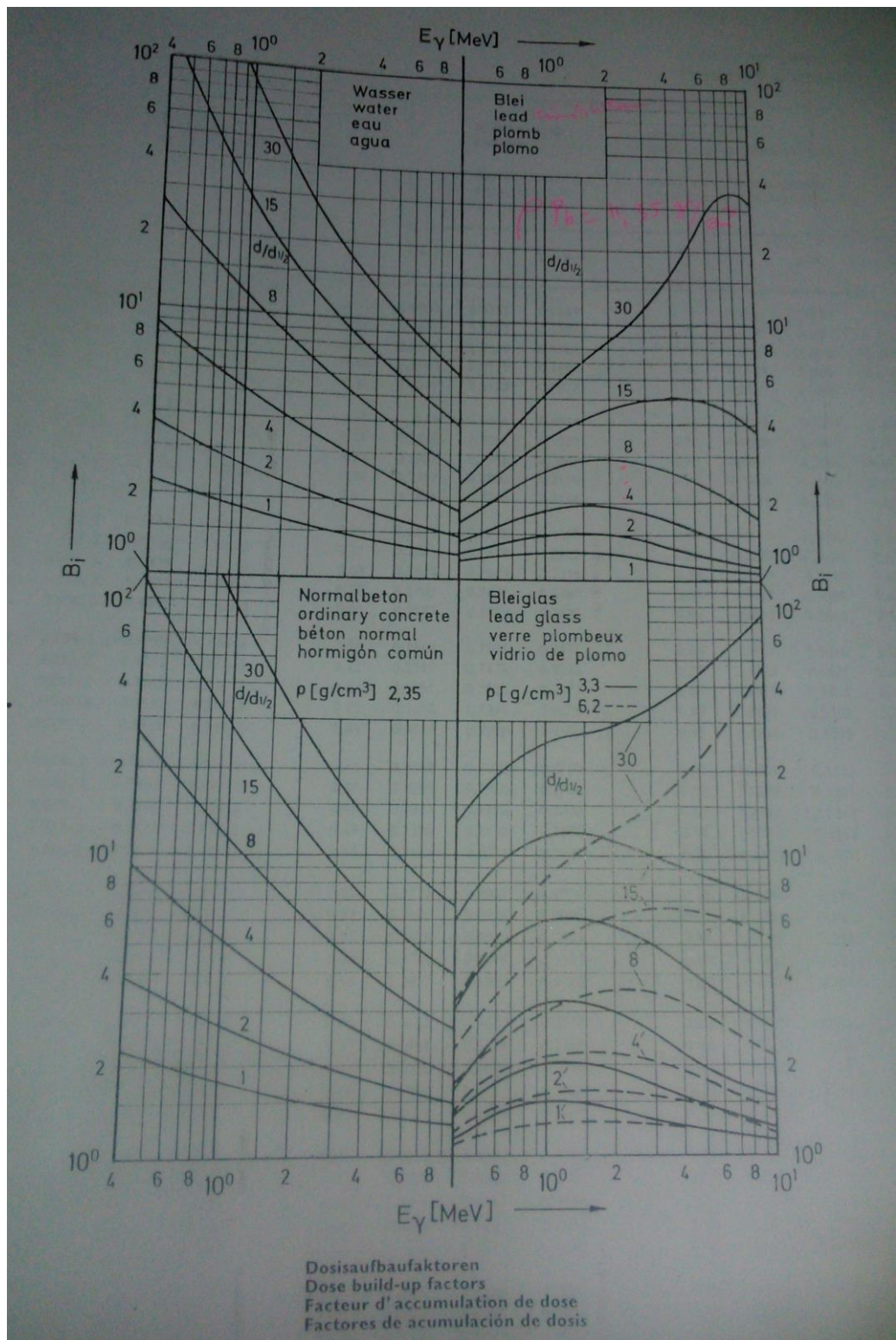
B_i : Build-up faktor

Karena materi bernomor atom besar memiliki koefisien penyerapan massa yang besar terhadap radiasi gamma dan rapat jenisnya pada umumnya tinggi, maka materi seperti ini dapat menahan radiasi gamma secara efisien.

Dengan mempertimbangkan sifat dan penggunaannya yang mudah, materi yang biasa digunakan sebagai bahan penahan gamma adalah: timbal, besi, beton kongkrit, dan air demineral



Gb. Diagram HVL



Gb. Diagram Build Up Factor

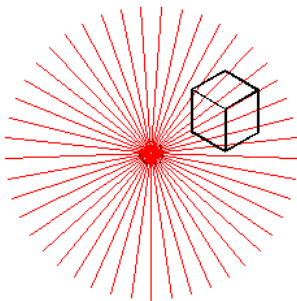
B. Hukum kuadrat terbalik.

Radiasi gamma dari sumber radiasi terpancar ke segala arah, intensitas radiasi gamma di suatu titik akan menjadi lemah karena berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya dari sumber radiasi. Jarak dari sumber radiasi merupakan faktor utama dalam melakukan penahanan.

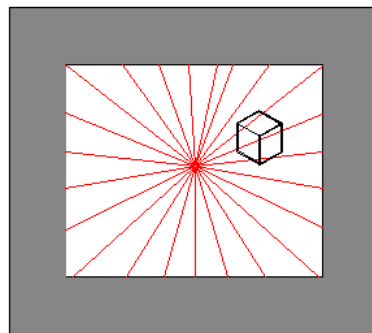
Laju emisi foton (isotropis) per detik ΞN_0 foton per detik \sim aktivitas sumber

$$I_o = \frac{N_o}{A_o} \left(\frac{\gamma}{m^2 dt} \right)$$

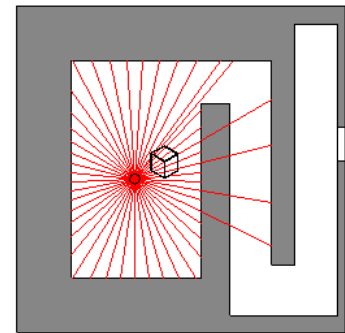
A_0 : luasan bola berjari $r = 4\pi r^2$



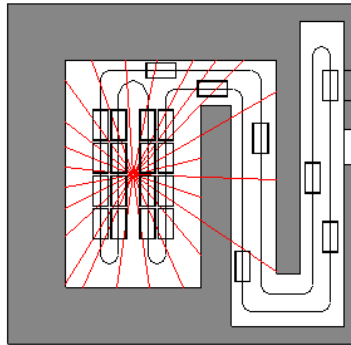
SOURCE-PRODUCT



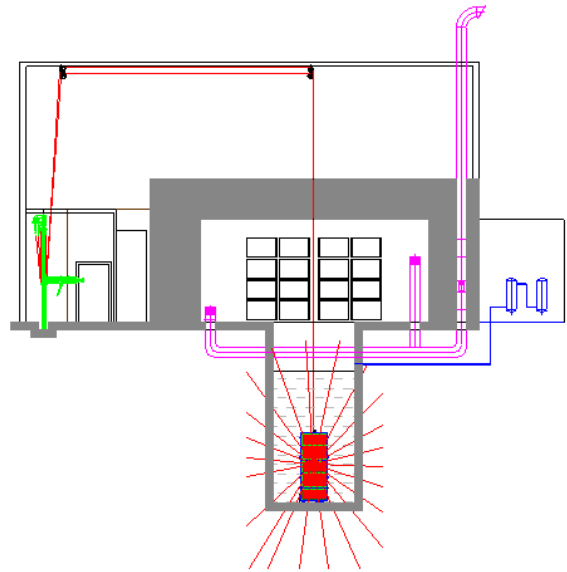
CONCRETE SHIELD



LABYRINTH ACCESS



CONTINUOUS CONVEYING

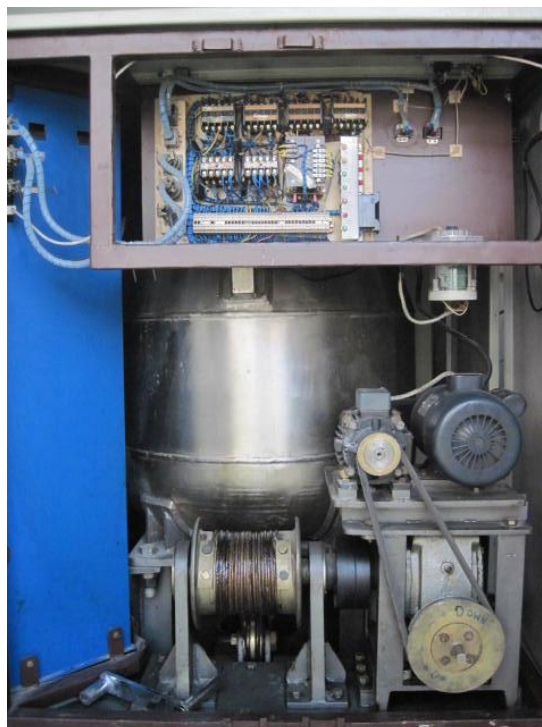
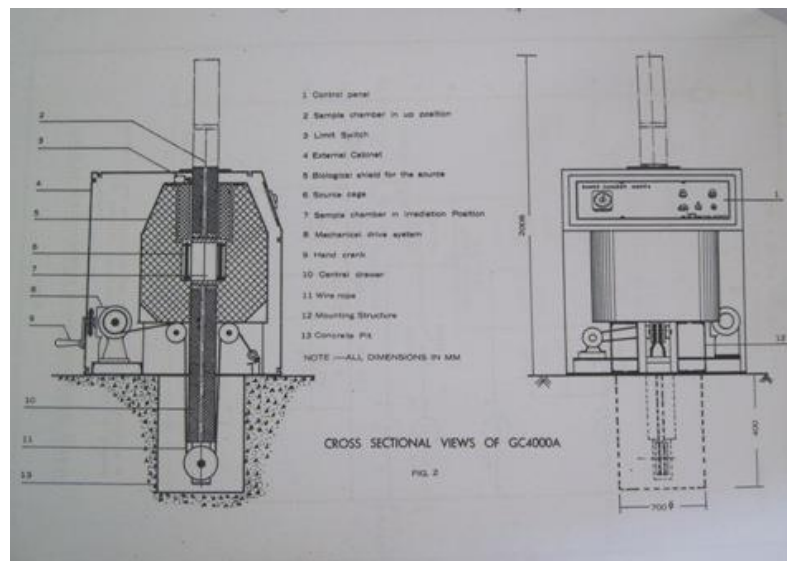
SOURCE-STORAGE , VENTILATION,
SOURCE RAISE SYSTEM, D.M.WATER
ACCESS CONTROL INTERLOCKS

BAB III

KATEGORI IRADIATOR

A. Iradiator Kategori I

Iradiator bersifat portabel dengan konfigurasi sumber radiasi tersimpan tetap di dalam kontener penahan radiasi, sampel yang akan diiradiasi yang dimasukkan ke tengah konfigurasi sumber menggunakan sistem drawer yang dapat diatur waktu iridasinya. Iradiator kategori I biasa digunakan untuk iradiasi sampel yang ukurannya relatif kecil (mak. 2 l) dan memerlukan keseragaman dosis yang mendekati 1 (satu). Aktivitas sumber radiasi maksimum dari iradiator kategori I ± 10 kCi

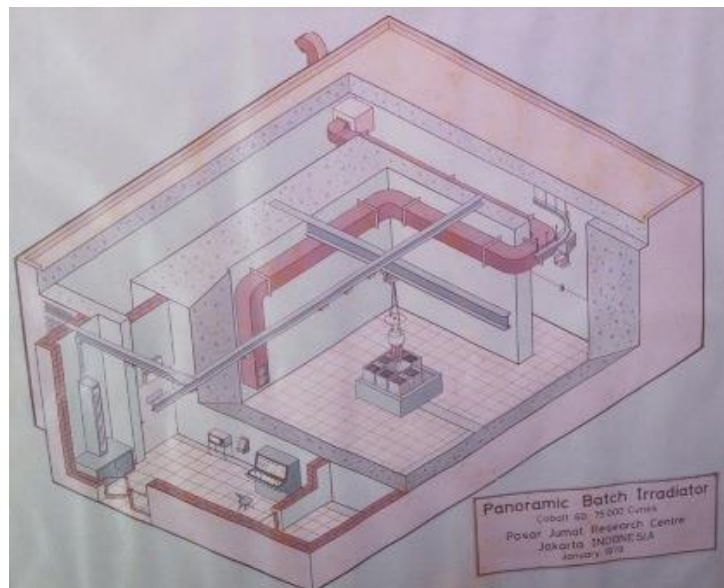


Gb.: Iradiator Kategori I

B. Iradiator Kategori II

Iradiator dengan sistem penyimpanan kering (kontener), ketika dioperasikan sumber radiasi dikeluarkan ke posisi pemaparan, kapasitas maksimum 100 kCi, dilengkapi dengan sistem kendali dan keamanan tertentu terkait dengan akses personel dan transportasi sampel.

Pada saat pengoperasian yang dilengkapi beberapa sistem interlock tidak dimungkinkan adanya akses personel di dalam ruang iradiasi.

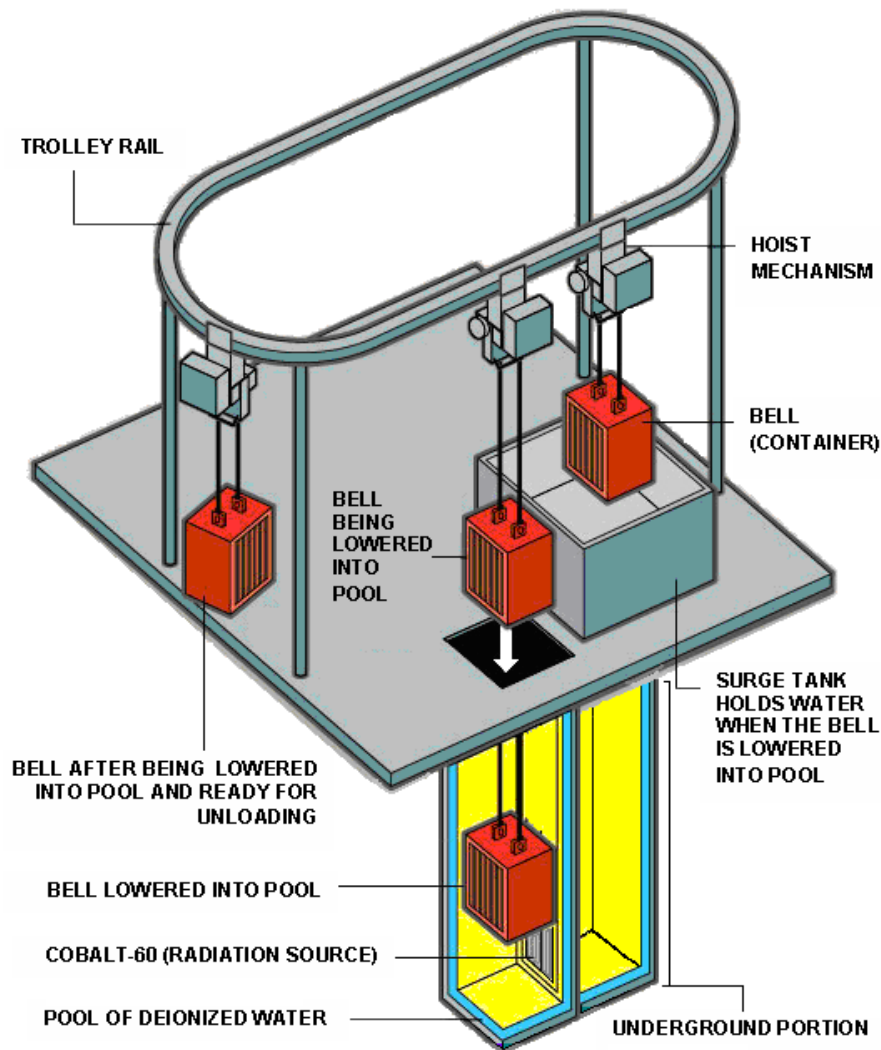


Gb.: Iradiator Kategori II

Desain kontener iradiator kategori II dengan bentuk sirip bagian luar dimaksudkan mengurangi akumulasi energi panas pada sumber radiasi dan sekitarnya pada saat sumber pada posisi penyimpanan.

C. Iradiator Kategori III

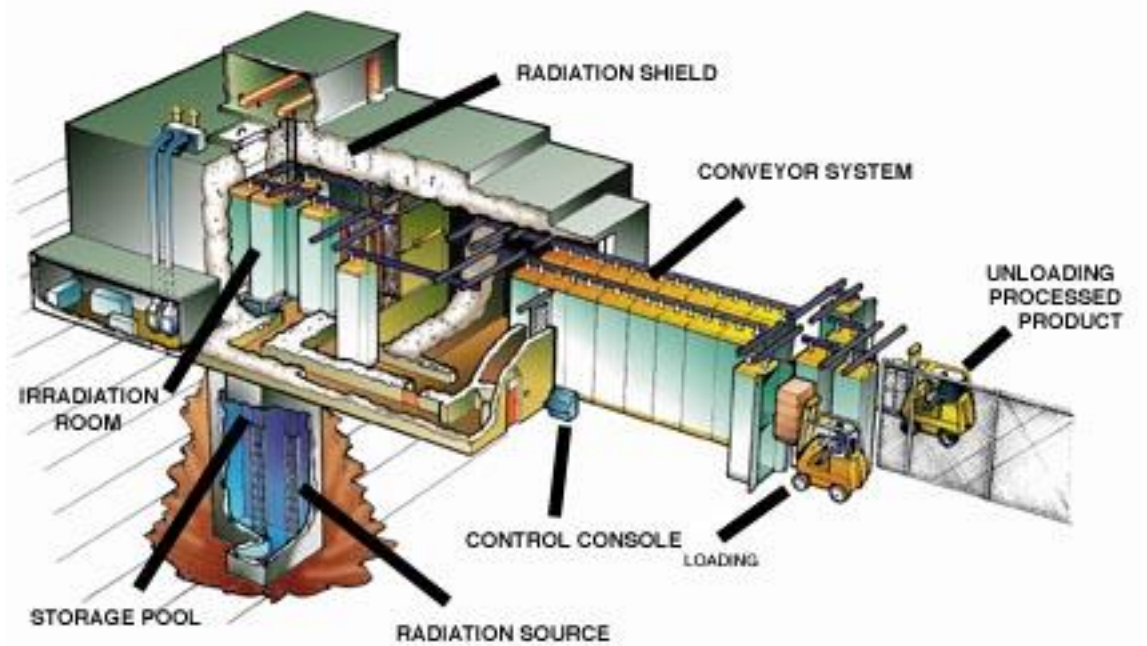
Iradiator dengan sistem penyimpanan basah, sumber radiasi tetap di dalam air kolam, bahan yang akan diiradiasi digerakkan ke posisi pemaparan di dalam kolam. Pada saat iradiasi dimungkinkan adanya akses personel di sekitar permukaan kolam.



Gb.: Iradiator Kategori III

D. Iradiator Kategori IV

Iradiator dengan sistem penyimpanan basah, sumber radiasi digerakkan ke posisi pemaparan di atas permukaan kolam. Kapasitas sumber radiasi mencapai beberapa M Ci, pada umumnya dilengkapi dengan sistem transportasi produk (konveyor). Pada saat iradiasi tidak dimungkinkan adanya akses personel di sekitar permukaan kolam.



Gb.: Iradiator Kategori IV

Contoh Spesifikasi Iradiator Kategori IV :

SPECIFICATION

The offered irradiator is a Panoramic Irradiator with tote box product transport system, Product overlap type with wet source storage.

<i>Biological shield</i>	<i>for 2 million Ci Co-60 equivalent</i>
<i>Storage</i>	<i>water pool (6 m deep)</i>
<i>Source rack</i>	<i>3 independently movable flat racks</i>
<i>Source modules</i>	<i>4 rectangular modules in each racks</i>
<i>Source modules capacity</i>	<i>40 pieces of CoS-43HH type source</i>

pencils

<i>Source rack capacity</i>	<i>40 x 4 x 3 = 480 places, up to 2 MCi</i>
<i>Source type (ISO 2919)</i>	<i>double encapsulated in stainless steel,</i>
<i>Source sizes</i>	<i>451 x 11 mm (diameter), 20 years guarantee against leakage, take back guarantee;</i>
<i>Initial load kCi</i>	<i>CoS-43HH type with total activity of 300</i>
<i>Source hoist</i>	<i>pneumatically powered, gravity return</i>
<i>Range of product density</i>	<i>0.1-0,6 g/ccm</i>
<i>Product transport system</i>	<i>Fully automated tote box system, continuous and batch mode of operation</i>
<i>Size of tote boxes</i>	<i>(inner) 486x486x915 mm 215 liters 120 kgs at the density of 0.6 g/ccm, made of AL</i>
<i>Number of tote boxes used</i>	<i>72 pieces</i>
<i>Number of spare tote boxes</i>	<i>28 pieces</i>
<i>Maximum throughput</i>	<i>5160 liters/h, 123 m³/day at 1 MCi, 30 kGy</i>
<i>Dose rate permitted on the outer surface max.</i>	<i>2 μSv/h (0.2 mR/h)</i>

BAB IV

KAPASITAS PRODUKSI IRADIATOR

A. Kapasitas produksi

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

- Produk yang akan diradiasi : jenis produk, densitas, dosis iradiasi, keseragaman dosis
- Aktivitas sumber radiasi : *aktivitas sumber*, ukuran sumber, konfigurasi sumber radiasi

- Sistem konveyor: konfigurasi dan jumlah *tote box* di dalam ruang iradiasi, ukuran *tote box* (*product overlap, source overlap*)
- Sistem pengoperasian : sistem bath, sistem kontinu

Contoh kapasitas produksi iradiator

Density	Dose uniformity	Efficiency	Density	Dose	Capacity (l) at 1 Mci
0.1	1.2	20%	0.1	30 kGy	5160
0.2	1.25	22%	0.2	25 kGy	4500
0.3	1.45	28%	0.3	20 kGy	4650
0.4	1.6	36%	0.4	15kGy	5160
0.5	1.8	38%	0.5	10 kGy	5160
0.6	1.85	40%	0.6	1 kGy	5160

Dari contoh tabel diatas dapat dijelaskan keterkaitan antara beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kapasitas produksi iradiator, terutama iradiator kategori II,III,dan IV.

B Penambahan Sumber Radiasi

Aktivitas sumber radiasi dari suatu iradiator perlu di pertahankan pada kisaran besaran aktivitas tertentu supaya memiliki kapasitas produksi yang sesuai dengan keperluan layanan iradiasi. Penambahan aktivitas dilakukan dengan memasukkan sejumlah pensil sumber radiasi baru (Aktivitas satu pensil baru: ± 10 kCi) dan dilakukan dengan periode waktu tertentu (misal: tiap 3 tahun). Setiap kali dilakukan penambahan sumber perlu dilakukan konfigurasi ulang susunan pensil, dan secara umum perlu usahakan aktivitas pensil merata di seluruh *source rack* sehingga paparan radiasi cukup merata di seluruh permukaan bidang sumber radiasi.

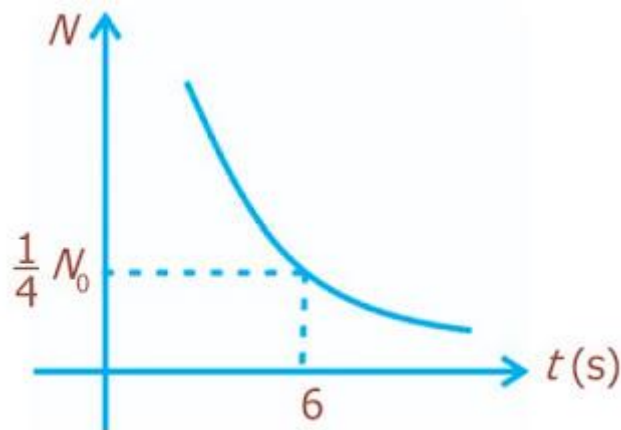
C Identitas Pensil Sumber Radiasi

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, dan ketika sebagian pensil harus dilimahkan maka dapat dipilih pensil dengan aktivitas terkecil

RANGKUMAN

Contoh soal 1



Grafik di atas merupakan grafik peluruhan sampel radioaktif. Jika $N = \frac{1}{4} N_0 = 10^{20}$ inti, tentukan:

- waktu paruh unsur radioaktif tersebut,
- konstanta peluruhannya,
- aktivitas radioaktif mula-mula!

Penyelesaian:

a. Dari data grafik:

$$N = \frac{1}{4} N_0 \text{ untuk } t = 6 \text{ s, sehingga:}$$

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\frac{1}{4} N_0 = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{6}{T}}$$

$$2 = \frac{6}{T}$$

$$T = 3 \text{ sekon}$$

b. Konstanta peluruhan

$$\lambda = 0,693/T$$

$$\lambda = 0,693/3 = 0,231 \text{ peluruhan/sekon}$$

c. $A = \lambda \cdot N_0$

$$A = (0,231)(4 \times 10^{20})$$

$$A = 0,924 \times 10^{20}$$

$$A = 9,24 \times 10^{20} \text{ peluruhan/sekon}$$

$$A = 9,24 \times 10^{19} \text{ Bq}$$

Contoh soal 2

Iradiator kategori IV dengan kapasitas 2 Mci pada tahun pertama diisi dengan 50 pensil baru dengan aktivitas total 500 kCi. Jika selama 10 tahun berikutnya aktivitas pensil dipertahankan antara 400 s/d 600 kCi, berapa aktivitas pensil harus ditambahkan dan pada periode berapa tahun harus dilakukan penambahan sumber

DAFTAR PUSTAKA

1. HERMAN CEMBER, THOMASE JOHNSON, Introduction to Healt Physics 4 th
2. NICHOLAS TSOULFANIDIS, Measurement and Detection of Radiation, Hemisphere Publishing Corporation,1983
3. Instruction Manual Latec Iradiator