



## PERANCANGAN PERISAI RADIASI PADA KEPALA SUMBER UNTUK PESAWAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGGUNAKAN CO-60 PADA POSISI *BEAM OFF*

Leli Yuniarsari, Kristiyanti Bang Rozali, Beny Syawaludin

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

### ABSTRAK.

*PERANCANGAN PERISAI RADIASI PADA KEPALA SUMBER ISOTOP UNTUK PESAWAT RADIOTERAPI EKSTERNAL MENGGUNAKAN CO-60 PADA POSISI BEAM OFF. Telah dirancang suatu perisai radiasi untuk kepala sumber pada pesawat radioterapi eksternal pada posisi "Beam Off", yaitu waktu tidak sedang dilakukan penyinaran. Rancangan mencakup bahan-bahan yang digunakan untuk perisai radiasi tersebut serta ketebalannya. Perisai radiasi ini diharuskan mampu untuk melindungi pengguna dari paparan sumber radiasi Co-60 beraktivitas 8000 Ci, dengan membatasi paparan pada jarak 1 m hingga kurang dari Nilai Batas Dosis tahunan untuk pekerja radiasi, yaitu 50 mSv. Bahan yang dipertimbangkan adalah timbal, depleted uranium, dan tungsten. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan cara pelemahan berkas radiasi  $\gamma$ , cara harga HVL dan cara transmisi. Pada posisi beam off, tebal total perisai radiasi arah atas dan samping sumber adalah timbal 18.6 cm, depleted uranium 5 cm dan tungsten 1.5 cm. sedangkan pada arah bawah tebal perisai radiasi adalah timbal 17.5 cm dan depleted uranium 7cm.*

*Kata kunci i : Perisai, beam off*

### ABSTRACT.

*THE DESIGN OF RADIATION SHIELDING FOR THE ISOTOPE SOURCE HEAD OF AN EXTERNAL RADIOTHERAPY EQUIPMENT USING Co-60 IN THE "BEAM OFF" POSITION. A design has been created for the radiation shielding for the source head of an external radiotherapy equipment in the "Beam Off" position, namely when irradiation is not being performed. The design includes the materials used for the shielding and their thicknesses. The radiation shielding is required to be able to protect users from exposure from a Co-60 source with an activity of 8000 Ci, by limiting the radiation exposure at the distance of one meter to within the radiation workers' yearly Dose Limit Value of 50 mSv. The materials considered were lead, depleted uranium, and tungsten. The calculations involved use the method of gamma radiation beam attenuation, using HVL value and transmission methods. In the "beam off" position, the total thickness of the radiation shielding for the up and side directions of the source is 18.6 cm of lead, 5 cm of depleted uranium, and 1.5 cm of tungsten, while for the down direction the thickness is 17c.5 cm, consisting of lead and 7 cm of depleted uranium.*

*Keywords: radiation shielding, beam-off*

## 1. PENDAHULUAN

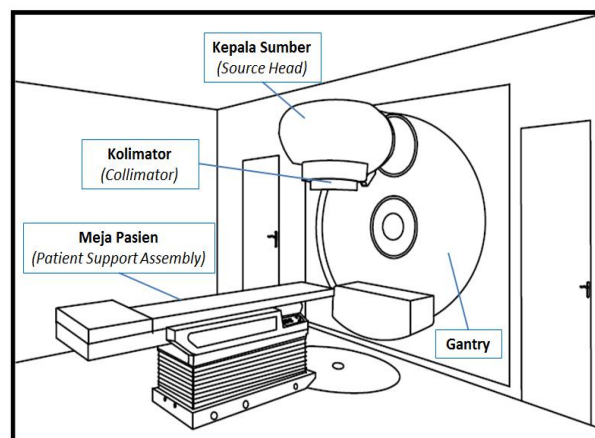
Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60 (Co-60) berfungsi untuk terapi kanker dengan cara memberikan radiasi gamma dari Co-60 pada bagian tubuh yang terkena kanker. Radiasi gamma diarahkan pada bagian tubuh yang menderita kanker, sehingga dapat membunuh sel kanker namun sedikit mungkin mengenai sel tubuh yang sehat.



Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Co-60 terdiri dari:

1. Sumber radiasi Cobalt-60
2. Kepala sumber (*Source Head*)
3. Kolimator (*Collimator*)
4. Gantry (*Gantry*)
5. Meja Pasien (*Patient Support Assembly - PSA*)
6. Konsul (*Console*)

Perangkat radioterapi eksternal menggunakan Co-60 secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Pada Gambar 1. tidak terlihat konsul operator. Hal ini disebabkan karena konsul yang digunakan operator terletak di luar ruangan tempat perangkat radioterapi eksternal berada.



Gambar1. Sketsa umum perangkat radioterapi eksternal menggunakan Cobalt-60.

Kepala sumber (*source head*) merupakan bagian perangkat radioterapi eksternal tempat menyimpan dan mengeluarkan radionuklida Co-60 sebagai sumber radiasi.

Pada saat perangkat radioterapi eksternal tidak dikehendaki untuk memancarkan radiasi, radionuklida sumber radiasi Co-60 berada pada posisi *Beam-Off*. Sedangkan pada saat perangkat radioterapi eksternal dikehendaki untuk memancarkan radiasi, radionuklida sumber radiasi Co-60 berada pada posisi *Beam-On*.

Pada posisi *beam-off*, bagian luar dari radionuklida sumber radiasi Co-60 dilapisi dengan perisai radiasi. Begitu juga saat bergerak menuju posisi *beam-on* sumber radiasi tersebut dilindungi dengan perisai radiasi. Kepala sumber harus memenuhi kriteria keselamatan radiasi. Paparan radiasi yang masih dapat menembus kepala sumber harus sekecil mungkin sehingga operator yang bertugas menerima paparan masih dalam batas

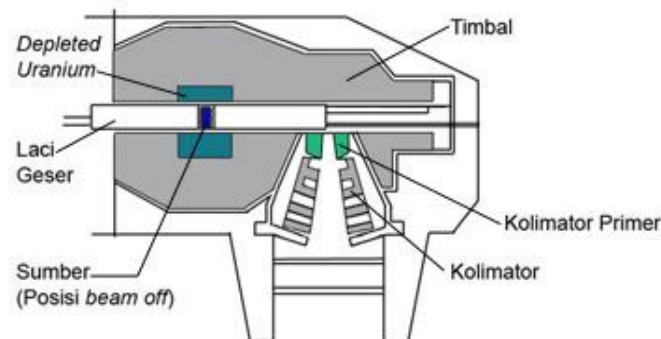


ketentuan keselamatan yang berlaku. Perisai radiasi direncanakan mampu menahan paparan radiasi Co-60 dengan aktivitas 8.000 Ci

Dalam makalah ini akan dibahas bahan dan ketebalan perisai radiasi untuk sumber Co-60 pada saat posisi *beam off*. Bahan perisai radiasi direncanakan dari timbal (Pb), Tungsten (W) dan Depleted Uranium (DU). Diharapkan paparan yang keluar bisa memenuhi ketentuan dari BAPETEN dimana pada jarak 1 m untuk pekerja radiasi menerima dosis 50 mSv per tahun.

## 2. TEORI

Perisai radiasi direncanakan mampu menahan paparan radiasi Co-60 dengan aktifitas 8.000 Ci.



Gambar 2. Susunan Perisai Radiasi pada Kepala Sumber

Bahan perisai radiasi (*shielding*) menggunakan timbal (Pb) depleted uranium (DU) dan tungsten (W) yang mampu menahan paparan radiasi pada jarak 1 meter sesuai dengan Nilai Batas Dosis (NBD) tahunan untuk pekerja radiasi 50 mSv, berdasarkan :  
 ICRP ( Indonesian Conference on Religion and Peace) No.26 th 1977 dan Safety Series IAEA No.9 th 1983

$$\Gamma = 13,2 \frac{Rcm^2}{Jam mCi} \quad (1)$$

$$\Gamma = \text{Laju Paparan} = 13,2 \frac{Rcm^2}{Jam mCi} \times 8.10^6 mCi \times \frac{1}{(100)^2 cm} = 105,6.10^2 \frac{R}{Jam}$$

Dosis equivalent (untuk sinar  $\gamma$ ) = 105,6 .10<sup>2</sup> Rem/Jam



$$= 105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem /Jam}$$

Nilai dosis equivalent ini (  $105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem/Jam}$  ), dinyatakan sebagai nilai  $I_0$ , yaitu paparan sebelum melewati shielding untuk radiasi 8000Ci.

Perhitungan Perisai radiasi pada posisi *Beam Off*, dilakukan dengan 3 cara , yaitu

- Perhitungan menggunakan pelemahan berkas radiasi  $\gamma$
- Perhitungan menggunakan harga HVL ( *Half Value Layer* )
- Perhitungan menggunakan cara transmisi

### 2.1. Perhitungan menggunakan pelemahan berkas radiasi $\gamma$

Digunakan persamaan :

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu \cdot x} \quad (2)$$

Dengan :

$I_0$  = paparan tanpa menggunakan perisai

$I$  = paparan sesudah melewati perisai yaitu sesuai NBD per tahun untuk pekerja Radiasi.

$\mu$  = koefisien linier bahan perisai ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x$  = tebal bahan perisai (cm)

Harga koefisien linier bahan ( $\mu$ ) bias didapat dari koefisien atenuasi ( $\mu/\rho$ ) sesuai dengan energy radionuklidanya.

Tebal perisai masih harus dimasukkan factor Build Up (B) sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{I}{I_0} = B \cdot e^{-\mu \cdot x} \quad (3)$$

Jika harga  $I$  yang didapat masih belum memenuhi NBD maka ketebalan masih harus ditambah lapisan setebal  $n$  HVL (*half value layer*).

$$X^1 = x + n \text{ HVL} \quad (4)$$

$$\text{HVL} = \frac{0,693}{\mu} \quad (5)$$

### 2.2. Perhitungan menggunakan harga HVL ( *Half Value Layer* )



Yaitu perhitungan yang menggunakan prinsip tebal perisai yang diperlukan menjadikan besaran semula menjadi setengahnya .

Tebal HVL merupakan yang dapat menyerap setengah intensitas paparan radiasi yang datang sehingga intensitas paparan radiasi yang diteruskan tinggal setengah intensitas mula-mula,

$$I/I_0 = e^{-\mu \cdot HVL} = \frac{1}{2}$$

$$\ln \left( \frac{1}{2} \right) = -\mu \cdot HVL$$

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

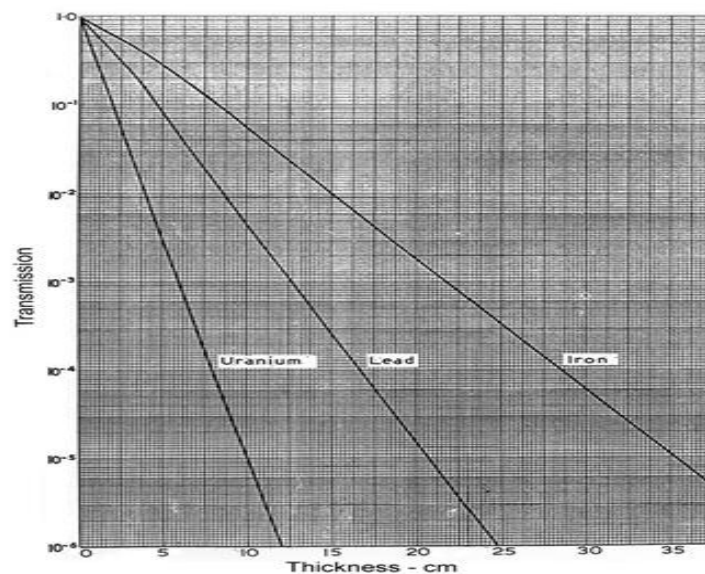
Nilai HVL ini sangat bermanfaat untuk keperluan praktis di lapangan yaitu untuk menentukan tebal suatu bahan yang diperlukan sebagai perisai radiasi.

$$I = I_0 \left( \frac{1}{2} \right)^n \quad (6)$$

Dengan  $n$  adalah banyaknya HVL penyusun tebal penahan radiasi  
(  $n = X/HVL$  )

### 2.3. Perhitungan menggunakan cara transmisi

Digunakan grafik antara transmisi dan ketebalan, seperti terlihat pada gambar



Gambar 3. Grafik Transmisi Sinar Gamma Cobalt-60 melalui beberapa material



## 2.4. Ekuivalensi bahan perisai

Untuk menghitung ekuivalensi bahan perisai Pb dengan bahan perisai DU dan W digunakan prinsip kemampuan bahan dalam penyerapan radiasi :

Daya serap Pb = daya serap DU = daya serap W

Dari hasil substitusi didapatkan Persamaan 6.

$$\mu_{Pb} x_{Pb} = \mu_{DU} x_{DU} = \mu_W x_W \quad (7)$$

dengan :

$\mu_{Pb}$  = koefisien serapan linier Pb ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x_{Pb}$  = tebal Pb (cm)

$\mu_{DU}$  = koefisien serapan linier DU ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x_{DU}$  = tebal DU (cm)

$\mu_W$  = koefisien serapan linier W ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x_W$  = tebal W (cm)

## 3. METODE PERANCANGAN

### 3.1 Perhitungan Menggunakan Pelemahan Berkas Radiasi $\gamma$ <sup>[3]</sup>

Dengan menggunakan persamaan (2) diperoleh NBD = 0,5787 mRem/Jam. Ini dinyatakan sebagai paparan sebelum melewati shielding untuk 8.000 Ci sebesar  $105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem/Jam}$

$\mu$  = koefisien linier bahan ( $\text{cm}^{-1}$ )

$x$  = tebal bahan shielding (cm).

Harga koefisien linier bahan ( $\mu$ ) bisa didapat dari tabel koefisien attenuasi ( $\mu/\rho$ ) sesuai dengan energi radioisotopnya. Untuk Co-60 energi 1,3 Mev didapatkan harga koefisien linier bahan seperti pada Tabel 1.



Tabel 1. Harga koefisien linier bahan ( $\mu$ ) pada energi 1,3 Mev

Unsur	$\mu/\rho$ ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ )	$\rho$ ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	$\mu$ ( $\text{cm}^{-1}$ )
Pb	0,05945	11,34	0,674
W	0,0563	19,3	1,0866
DU*	0,0646	18,7	1,2080

\*Data DU menggunakan U-92

Diasumsikan kontainer dari Pb semua

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

dimana :

$$I_0 = 105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem/jam}$$

$$I = 0,578 \text{ mRem/Jam}$$

$$\mu = 0,674 \text{ cm}^{-1}$$

Maka berdasarkan persamaan (2):

$$\frac{0,578}{105,6 \cdot 10^5} = e^{-(0,674) x}$$

$$\text{Tebal } x = 24,8 \text{ cm}$$

Tebal ini masih harus dimasukkan faktor Build Up (B) sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{I}{I_0} = B \cdot e^{-\mu x} \quad (8)$$

Harga B bisa dilihat pada grafik yang menunjukkan antara  $\mu x$  dan faktor B pada energi tertentu untuk bahan Pb<sup>[4]</sup>

$$\text{Untuk harga } \mu x = (0,674 \text{ cm}^{-1})(24,8 \text{ cm}) = 16,7$$

Dari grafik didapat harga B = 6

Sehingga harga I bisa dihitung :

$$\frac{I}{105,6 \cdot 10^5} = 6 \cdot e^{-16,7}$$

$$I = 3,54 \text{ mRem/jam}$$



Harga I masih belum memenuhi NBD yaitu sebesar 0,578 mRem/jam sehingga ketebalan masih harus ditambah lagi,

Tebal perlu ditambah lapisan setebal n HVL.

$$X' = x + n \text{ HVL.}$$

Nilai HVL dapat diketahui dari hubungan :

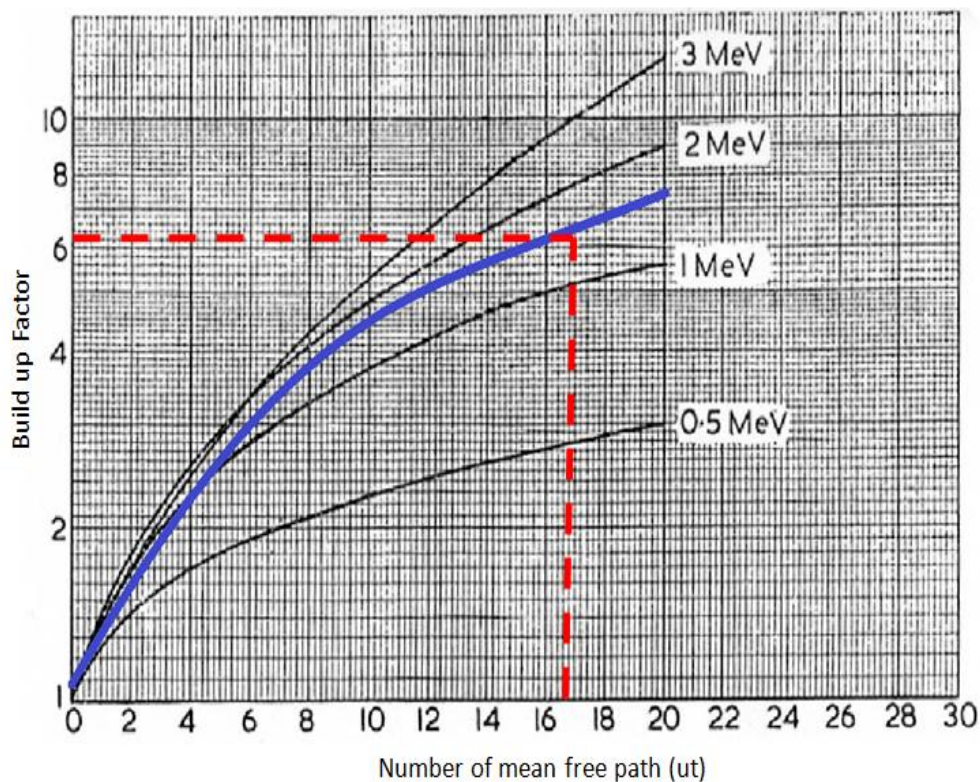
$$\begin{aligned} \text{HVL} &= 0,693/\mu \\ &= 0,698/0,674 \\ &= 1,028 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X' &= 24,8 + 0,5 ( 1,028) \\ &= 25,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$\mu x' = 17,0522$  dari grafik didapat harga B = 6

I = 2,48 mRem/jam. (harga I belum memenuhi NBD)

Perhitungan diulang sehingga diperoleh ketebalan yang dapat mengurangi paparan menjadi lebih kecil dari NBD. Maka diperoleh tabel perhitungan sbb.



Gambar 4. Grafik Faktor Built-Up sumber isotropik titik





Tabel 2. Perhitungan ketebalan perisai Untuk HVL=1,028,  $\mu=0,674 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $I_0=105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem/jam}$

X (cm)	X' (cm)	$\mu x'$	B	I ( mRem/jam )
24,8	25,3	17,0522	6	2,48
25,3	25,8	17,38	6	1,79
25,8	26,3	17,72	6	1,26
26,3	26,8	18,06	6,1	0,9
26,8	27,3	18,40	6,1	0,65
27,3	27,8	18,73	6,1	0,07

Pada ketebalan perisai 27,8 cm,  $I = 0,07 \text{ mRem/jam}$  (harga I sudah memenuhi NBD yaitu 0,578 mRem/jam). Sehingga ketebalan Pb ditentukan 28 cm.

### 3.2. Perhitungan Menggunakan Harga HVL. ( *Half Value Layer* )

Tebal lapisan shielding yang diperlukan untuk menjadikan besaran semula menjadi setengahnya :

$$I = I_0^{(1/2)^n} \quad (9)$$

dengan

$I$  = laju paparan setelah melewati perisai

$I_0$  = laju paparan sebelum melewati perisai

$n$  = banyaknya HVL penyusun tebal penahan radiasi

Tebal HVL untuk 1,3 MeV :  $I_0 = 105,6 \cdot 10^5 \text{ mRem/jam}$  dan  $I = 0,5787 \text{ mRem/jam}$

Berdasarkan persamaan (3) diperoleh  $n = 24,8$  dibulatkan menjadi 25

$$\text{HVL} = 0,693/\mu = 0,693/0,674 = 1,028$$

Jadi tebal yang dibutuhkan :  $n \cdot \text{HVL} = 25 \times 1,028 = 25,7$

Digunakan tebal = 26 cm



### 3.3. Perhitungan Menggunakan Cara Transmisi .

$$\text{Transmisi} = \frac{0,00578 \text{ mSv/Jam}}{105,6 \cdot 10^3 \text{ mSv/Jam}} = 5,4 \cdot 10^{-8}$$

Untuk lead didapat tebal = 33 cm. ( dari ekstrapolasi , Gambar 3 )

### 3.4. Perhitungan ekuivalensi tebal Pb.

Diasumsikan sumber Cobalt-60, dilapisi :

- Tungsten (W) = 1,5 cm
- Depleted Uranium (DU ) = 5 cm (bagian atas)
- Depleted Uranium (DU) = 7 cm (bagian bawah)
- 

Untuk prosentase daya serap (I/I<sub>0</sub>) maka didapatkan persamaan :

Ekivalensi tebal W 1,5 cm

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pb}} x_{\text{Pb}} &= \mu_{\text{W}} x_{\text{W}} \\ (0,674) x_{\text{Pb}} &= (1,0866)(1,5) \\ x_{\text{Pb}} &= 2,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

Ekivalensi tebal DU 5 cm

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pb}} x_{\text{Pb}} &= \mu_{\text{DU}} x_{\text{DU}} \\ (0,674) x_{\text{Pb}} &= (1,2080)(5) \\ x_{\text{Pb}} &= 9 \text{ cm}\end{aligned}$$

Ekivalensi tebal DU 7 cm

$$\begin{aligned}\mu_{\text{Pb}} x_{\text{Pb}} &= \mu_{\text{DU}} x_{\text{DU}} \\ (0,674) x_{\text{Pb}} &= (1,2080)(7) \\ x_{\text{Pb}} &= 12,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Jadi tebal Pb dikurangi tebal tungsten (W) = 1.5 cm , dan tebal DU = 5 cm

Menjadi :

Tebal Pb (bag atas) = 30 cm – 2,4 cm – 9 cm = 18,6 cm , dan

Tebal Pb (bag bawah) = 30 cm – 12,5 cm = 17,5 cm

Jadi Susunan shielding menjadi :

bagian atas :	Pb = 18.6 cm	Bagian bawah	Pb = 17.5 cm
	DU = 5 cm		DU = 5cm
	W = 1.5		



#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

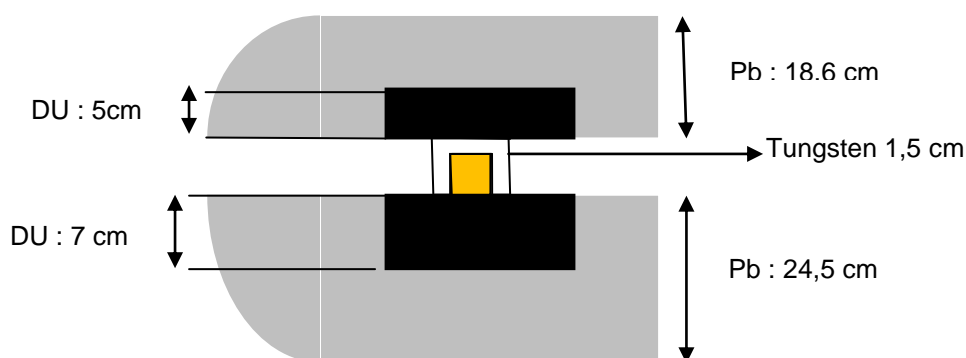
Hasil dari ketiga cara perhitungan perisai radiasi pada kepala sumber untuk Pesawat Radioterapi Eksternal menggunakan Co-60, pada posisi *Beam Off* dengan bahan timbal (Pb) adalah :

1. Menggunakan pelemahan radiasi, tebal timbal (Pb) = 28 cm
2. Menggunakan harga HVL, tebal timbal (Pb) = 26 cm
3. Menggunakan Transmisi, tebal timbal (Pb) = 33 cm

Ditetapkan tebal perisai radiasi (*shielding*) dari bahan Pb = 30 cm.

Perancangan perisai mempertimbangkan dimensi minimum perisai untuk mendapatkan berat keseluruhan *head* yang minimum, mengingat perisai timbal memiliki densitas yang sangat tinggi. Optimalisasi berat *head* sangat penting untuk mendukung kemudahan pembuatan perangkat radioterapi secara keseluruhan dengan biaya optimal. Berdasarkan hasil perhitungan jika perisai radiasi untuk penyimpanan sumber hanya terdiri dari timbal maka tebal perisai yang diperlukan adalah 30 cm ke segala arah dari sumber. Untuk mengurangi ketebalan perisai timbal, laci sumber pada posisi penyimpanan sumber juga diberi perisai *depleted uranium* dengan ketebalan 5 cm pada arah atas dan samping. Sedangkan pada arah bawah digunakan perisai *depleted uranium* yang lebih tebal yaitu 7 cm.

Sumber cobalt-60 telah ditempatkan dalam laci dengan lapisan tungsten dengan ketebalan total 1,5 cm pada arah atas dan arah samping (arah radial terhadap sumber berbentuk silinder). Berdasarkan susunan ini maka ketebalan timbal yang diperlukan menjadi berkurang.



Gambar 5. Susunan Perisai Hasil Rancangan dan Perhitungan



---

## 5. KESIMPULAN.

Dari uraian-uraian yang dikemukakan , dapat disimpulkan bahwa , pada posisi penyimpanan sumber (posisi *beam-off*) tebal perisai radiasi adalah untuk bagian arah atas dan samping terdiri dari timbal (Pb) 18.6 cm, depleted uranium (DU) 5 cm dan tungsten (W) 1.5cm, sedangkan untuk bagian bawah tebal perisai terdiri dari timbal (Pb) 24.5 cm dan depleted uranium 7cm.

## 6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan Terimakasih kami tujukan kepada :

1. Ristek atas bantuan pendanaan dari PIPKPP Ristek 2012, serta Kepala PRPN atas dukungan yang diberikan pada kegiatan ini.
2. Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung, atas kesempatan yang diberikan untuk mempelajari lebih jauh Perangkat Radioterapi Eksternal menggunakan Co-60.
3. Semua tim Perekayasa Perangkat Radioterapi Eksternal menggunakan Co-60, atas kerjasamanya, bantuan serta dukungan yang diberikan.

## 7. DAFTAR PUSTAKA

1. JANET MACKENZIE, Saskatchewan's Cobalt-60 Beam Therapy Unit Inaugurates a New Era in Cancer Treatment, University of Saskatchewan, 2002.
2. E.B. PODGORSK, Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA publication (ISBN 92-0-107304-6)
3. IAEA, SAFETY REPORTS SERIES No. 38 – APPLYING RADIATION SAFETY STANDARDS IN RADIOTHERAPY, VIENNA, 2006.
4. IAEA, SAFETY REPORTS SERIES No. 47 – RADIATION PROTECTION IN THE DESIGN OF RADIOTHERAPY FACILITIES, VIENNA, 2006
5. Peraturan Ka. BAPETEN No.8 Tahun 2011 tentang : Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
6. WIRANTO BUDI SANTOSO, dkk Laporan Teknis Perekayasa Perangkat Radioterapi Eksternal menggunakan Co-60, PRPN BATAN 2012.



---

## TANYA JAWAB

### *Pertanyaan*

1. Apakah desain perisai ini dalam bentuk modul? (BANDI PARAPAK)
2. Bagaimana caara mengisi sumber ke kontainer perangkat radioteraphi? (BANDI PARAPAK)

### *Jawaban*

1. Ya bagian perangkat radioterapi Co-60, modul “head Source”
2. Sumber baru dalam container dipindah ketempat laci sumber dengan menggunakan robotik, sehingga aman..