

## PERANCANGAN KONSUL UNTUK OPERATOR PADA PEREKAYASAAN PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI

Rahmat, Budi Santoso, Kristiyanti  
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-BATAN

### ABSTRAK

**PERANCANGAN KONSUL UNTUK OPERATOR PADA PEREKAYASAAN PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI.** Telah dilakukan perancangan konsul untuk operator pada perekayasaan pesawat sinar-X Mamografi. Konsul untuk operator berfungsi antara lain sebagai perisai radiasi sinar-X dan tempat kedudukan modul – modul instrumentasi. Konsul operator memiliki ukuran dimensi tinggi 175 cm, panjang 59 cm, lebar 67 cm dan dilengkapi dengan roda. Metode perancangan perisai menggunakan perhitungan hamburan radiasi sinar-X dan sesuai standar keselamatan operator. Bahan perisai terbuat dari lead glass dengan dimensi lebar 65 cm, tinggi 105 cm, tebal 1 cm dan pelat Pb dengan dimensi lebar 65 cm, tinggi 69 cm, tebal 1 mm. Perancangan konsul untuk operator bertujuan untuk melindungi keselamatan seorang petugas operator ketika sinar-X mamografi dioperasikan dari hamburan radiasi sinar-X sesuai dengan ketentuan keselamatan dari BAPETEN. Diharapkan hasil dari perancangan ini dapat dijadikan acuan dalam rancang bangun untuk konsul operator pesawat sinar-X mamografi.

Kata kunci : Perancangan, Konsul, Operator, Sinar-X, Mamografi.

### ABSTRACT

**DESIGN OF OPERATOR CONSOLE FOR X-RAY MAMMOGRAPHY DEVICE .** The design of operator console for x-ray mammography device has been done. The design of the operator console serves as a shielding of X-ray radiation and the place of instrumentation modules. operator console has dimensional size height 175 cm, length 59 cm, width 67 cm and wheels . Shielding design method using X-ray scattering calculation and operator safety standards . Shielding materials made of lead glass with dimensions width 65 cm, height 105 cm, thick 1 cm, Pb plates with dimensions width 65 cm, height 69 cm, 1 mm thick . The design of the operator console aims to protect an officer from X-ray radiation scattering as X-ray mammography operated in accordance with the safety provisions of BAPETEN. It is expected that the results of this design can be used as a reference in X-ray mammography manufacture.

Keyword : design, console, operator, X-ray, mammography

## 1. PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X mamografi merupakan perangkat yang menggunakan radiasi sinar-X dosis rendah untuk melakukan tindakan pemeriksaan pendeteksian pasien penderita kanker payudara yang dilakukan oleh ahli Radiologi <sup>[1]</sup>. Pesawat ini dioperasikan oleh seorang operator. Seorang operator bertugas mengatur posisi payudara pasien untuk penyinaran agar pengambilan data hasil pencitraan pasien sesuai hasil target yang diinginkan. Aspek keselamatan seorang operator harus diperhatikan dan diutamakan dari paparan atau hamburan radiasi. Agar seorang operator terlindungi dari radiasi sinar-X maka perlu dibuat perancangan konsul untuk seorang operator dengan berperisai (*shielding*) menahan radiasi. *Shielding* tersebut harus mampu menyerap atau menahan radiasi. Dengan adanya *shielding* seorang operator akan terlindungi dan aman dalam melaksanakan tugasnya. *Shielding* tersebut diharapkan dapat meminimalisir paparan radiasi sinar-X. Pada perekayasaan pesawat sinar-X mamografi ini dibuat

perancangan konsul mekanik untuk operator pesawat sinar-X mamografi. Konsul mekanik ini direncanakan terdiri dari :

1. Perancangan meja konsul pengendali operator.
2. Perancangan perisai radiasi sinar-X

Kedua perancangan ini diharapkan dapat meminimalisir, melindungi serta meningkatkan keselamatan kerja seorang operator dari bahaya paparan radiasi pesawat sinar X mamografi tersebut.

## **2 TEORI**

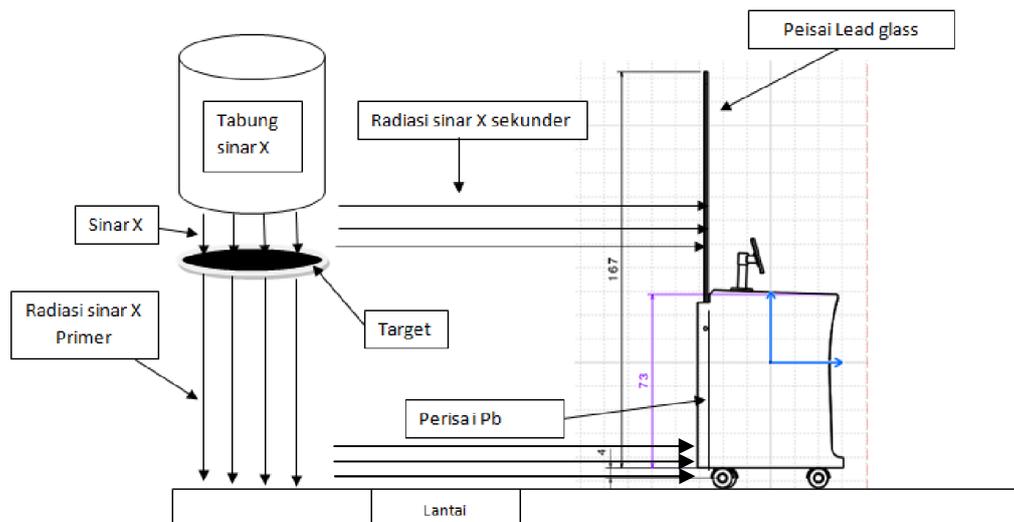
### **2.1.Sinar-X <sup>[2]</sup>**

Sinar-X adalah pancaran gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek sehingga dapat menembus benda-benda. Sinar-X ditemukan oleh sarjana fisika berkebangsaan Jerman yaitu *W. C. Rontgen* tahun 1895. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar-X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar-X memiliki panjang gelombang  $10^{-5} - 10^{-12}$  nm, berfrekuensi  $10^{17} - 10^{20}$  Hz dan memiliki energi  $10^3 - 10^6$  eV. Panjang gelombang sinar-X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal.

Sifat-sifat Sinar-X :

- a) Mempunyai daya tembus yang tinggi sinar-X dapat menembus bahan dengan daya tembus yang sangat besar, dan digunakan dalam proses radiografi.
- b) Mempunyai panjang gelombang yang pendek yaitu : 1/10.000 panjang gelombang yang kelihatan
- c) Mempunyai efek fotografi sinar-X dapat menghitamkan emulsi film setelah diproses di kamar gelap.
- d) Mempunyai sifat berionisasi efek primer sinar-X apabila mengenai suatu bahan atau zat akan menimbulkan ionisasi partikel-partikel bahan zat tersebut.
- e) Mempunyai efek biologi sinar-X akan menimbulkan perubahan-perubahan biologi pada jaringan, efek biologi ini digunakan dalam pengobatan radioterapi.

Pesawat sinar-X mamografi adalah salah satu penggunaan pemanfaatan sinar-X yang dilakukan pada kedokteran nuklir. Mamografi adalah tindakan memeriksa payudara dengan bantuan sinar-X dalam dosis rendah untuk mengambil citra dalam pendeteksian dini pasien penderita kanker payudara. Perencanaan perangkat sinar-X mamografi yang sedang dilakukan oleh PRPN – BATAN tahun 2013 salah satunya adalah pada perencanaan perangkat konsul mekanik operator. Konsul mekanik operator berguna untuk melindungi seorang operator Mamografi pada saat operasi penyinaran pengambilan proses citra. Pada saat inilah seorang operator akan terkena efek paparan radiasi sinar-X. Seorang operator akan terkena paparan radiasi dari sinar-X yaitu dari radiasi bocor pada tabung dan radiasi hamburan saat pesawat sinar X mamografi sedang beroperasi. Seperti terlihat pada gambar 1 dibawah ini .



Gambar 1. Gambar Imajinasi proses hamburan radiasi sinar-X perangkat mamografi.

## 2.2. Penggunaan Perisai Radiasi<sup>[3]</sup>

Penggunaan perisai radiasi bertujuan untuk melemahkan intensitas radiasi sinar-x pada mamografi. Mengingat sifat serap bahan perisai terhadap berbagai jenis dan energi radiasi berbeda-beda, jumlah dan jenis bahan penahan radiasi yang diperlukan akan tergantung pada jenis dan energi radiasi dari sumber. Interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi penyebab berkurangan intensitas radiasi.

Dalam rancangan perisai untuk radiasi elektromagnetik ini berlaku juga konsep nilai tebal paro atau *half value thickness* (HVT) dan *tenth value thickness* (TVT). Nilai HVT untuk perisai radiasi tertentu adalah tebal bahan perisai yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi setengah dari intensitas sebelum dilemahkan oleh perisai atau setengah dari intensitas mula-mula. Nilai untuk HVT bergantung pada jenis bahan penahan radiasi dan energi dari radiasi elektromagnetik yang diserap bahan tersebut.

Konsep HVT ini sangat berguna untuk menghitung secara cepat tebal perisai radiasi yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi hingga level tertentu. Misal untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi 1/2 dari intensitas semula diperlukan perisai radiasi setebal 1 HVT, untuk mengurangi intensitas menjadi 1/4 atau  $(1/2)^2$  dari intensitas semula diperlukan perisai setebal 2 HVT, untuk mengurangi intensitas menjadi 1/8 atau  $(1/2)^3$  dari intensitas semula diperlukan perisai setebal 3 HVT dan seterusnya.

Seringkali dalam pemanfaatan perisai radiasi juga digunakan nilai tebal sepersepuluh atau *tenth value thickness* (TVT), yaitu tebal bahan perisai yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi 1/10 dari intensitas semula. Sebagaimana konsep HVT, konsep TVT ini juga dimaksudkan untuk menghitung secara cepat tebal perisai radiasi yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi hingga level tertentu. Bedanya dengan HVT adalah bahwa dengan TVT ini intensitas radiasinya berkurang dengan kelipatan 1/10. Misal untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi 1/10 dari intensitas semula diperlukan perisai radiasi setebal 1 TVT, untuk mengurangi intensitas menjadi 1/100 atau  $(1/10)^2$  dari intensitas semula diperlukan perisai setebal 2 TVT, untuk mengurangi intensitas menjadi 1/1000 atau  $(1/10)^3$  dari intensitas semula diperlukan perisai setebal 3 TVT dan seterusnya.

Pelemahan radiasi sinar-X hanya dapat dikurangi intensitasnya bila bahan perisai untuk radiasi ini dipertebal. Kemampuan bahan perisai dalam menyerap radiasi sinar-X ditentukan oleh nilai  $\mu$  (koefisien atenuasi linear) bahan tersebut. Semakin tinggi nomor

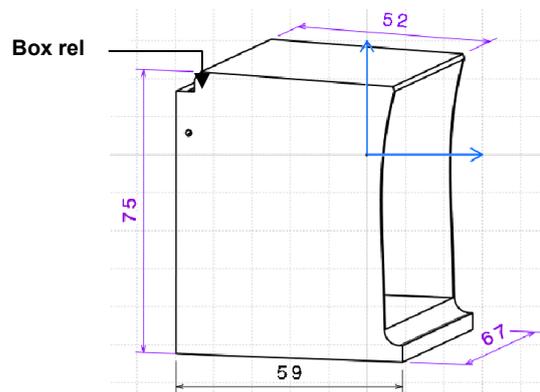
atom bahan semakin besar nilai  $\mu$  nya, sehingga semakin baik dipakai sebagai bahan perisai untuk radiasi sinar-X. Bahan yang umum dipakai untuk perisai radiasi sinar-X ini adalah timbal (*Pb*).

### 3. PERANCANGAN

#### 3.1. Perancangan Meja Konsul Pengendali Operator

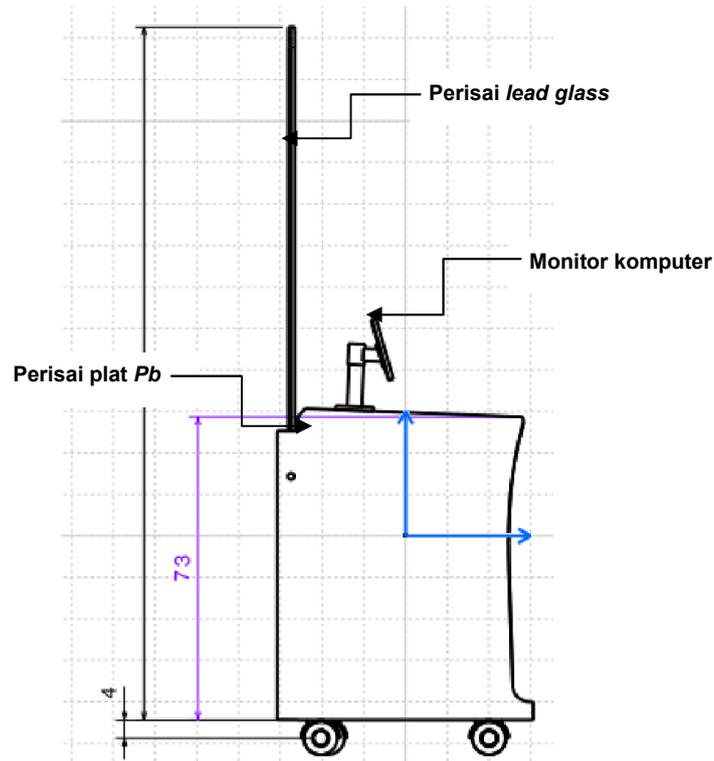
Perancangan meja konsul pengendali untuk operator dimaksudkan sebagai meja pengendali dan tempat kedudukan modul – modul instrumentasi juga sekaligus sebagai perisai radiasi untuk operator dari paparan sinar-X mamografi. Perancangan meja konsul pengendali operator memenuhi persyaratan faktor ergonomis dan keamanan bagi operator. Meja konsul pengendali seperti terlihat pada Gambar 2 dibawah menggunakan bahan pelat besi SS dengan ukuran dimensi lebar 59 cm x panjang 67 cm x tinggi 75 cm dengan ketebalan pelat besi 2 mm.

Dengan dimensi konsul tersebut secara ergonomis merupakan ukuran yang optimal bagi operator dalam menjangkau panel kontrol secara mudah, cepat, tepat dan nyaman saat mengoperasikan pesawat mamografi. Untuk faktor keamanan operator meja konsul ini dilengkapi dengan perisai radiasi dengan sistem *box rel* naik-turun (*up-down*). *Lead glass/kaca* timbal yang berfungsi sebagai perisai bagian atas dapat digerakkan *up-down* secara manual. Dimaksudkan *lead glass* tersebut dapat dipasang ke atas (*up*) saat perangkat mamografi beroperasi seperti terlihat pada gambar 3 atau ke bawah (*down*) atau dalam *box rel* pada saat mobilitas konsul.



Gambar 2. Gambar hasil rancangan meja konsul pengendali

Pada meja konsul pengendali terdapat empat buah roda yang berfungsi untuk mobilitas konsul. Jadi meja konsul pengendali operator dapat dipindahkan dan bebas bergerak kemana saja atau sesuai posisi yang paling aman dan strategis kita tempatkan. Pada meja konsul pengendali bagian atas dirancang dengan kemiringan sudut kurang – lebih sebesar  $10^0$  bertujuan untuk membantu memperjelas pandangan penglihatan seorang operator dalam pengoperasian pesawat sinar-X mamografi misalnya berhubungan dengan variasi tanda/indikator dan panel pengendalian/kontrol perangkat instrumentasi, terdapat juga perangkat dudukan untuk meletakkan monitor komputer dengan 4 (empat) buah pasang mur dan baut sebagai pengikat. Monitor komputer dapat bergerak kekiri dan kanan serta naik – turun secara manual menyesuaikan sudut pandang operator.



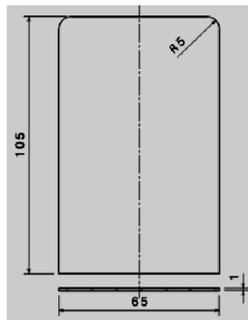
Gambar 3. Gambar hasil rancangan meja pengendali dengan perisai radiasi sinar-X

### 3.2. Perancangan Perisai Radiasi sinar-X

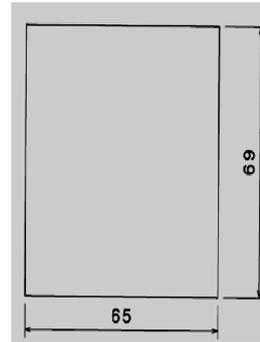
Perancangan perisai radiasi sinar-x ini untuk mendapatkan dimensi keseluruhan perisai *lead glass* dan pelat Pb disesuaikan dengan rata-rata tinggi postur tubuh wanita Eropa yakni 163-165 cm<sup>[4]</sup>. Dengan alasan tersebut jika konsul ini digunakan oleh orang Asia khususnya Indonesia (150-160 cm) dimensi dari konsul tersebut sangat ideal dan lebih aman.

Perancangan perisai sistem *box rel* ini dibagi menjadi 2 yaitu bagian atas dan bawah. Perisai bagian atas atau dihadapan seorang operator menggunakan *lead glass* dengan tujuan agar arah radiasi sinar-X dapat diblok dan diserap oleh perisai (*shielding*) dan bersifat tembus pandang agar seorang operator dapat melihat dan mengontrol posisi pasien pada saat penyinaran.

Bagian bawah menggunakan pelat *Pb* yang diletakan pada rel box dibagian depan meja konsul pengendali. Pelat *Pb* berfungsi sebagai perisai (*shielding*) radiasi sinar-X untuk keselamatan seorang petugas operator yang berada dibalik panel meja konsul pengendali. Dengan adanya perisai dari pelat *Pb* diharapkan seorang petugas operator dapat diminimalisir terkena paparan radiasi *sinar-X* pesawat sinar-X mamografi yang sedang beroperasi. Karena saat itulah seorang operator akan terkena efek paparan radiasi sinar-X, yaitu dari radiasi bocor pada tabung dan radiasi hamburan. Gambar perancangan perisai seperti terlihat pada gambar 4a dan gambar 4b dibawah ini.



Gambar 4a : Perancangan perisai  
*lead glass*



Gambar 4b : Perancangan perisai  
pelat Pb

### Perhitungan tebal perisai Pb radiasi untuk operator.

Pemilihan bahan yang dipakai pada perancangan untuk perisai radiasi berdasarkan Spesifikasi pesawat sinar X mamografi. yakni :

- Tegangan tinggi maksimal = 34 kV
- Arus maksimal = 30 mA
- Waktu penyinaran maksimal : 2 detik

Nilai batas dosis = 0,01 R/minggu, untuk perancangan digunakan  $\frac{1}{2}$  dari nilai batas dosis =  $\frac{1}{2} \times 0,01$  R/minggu = 0,005 R/minggu

Jarak dari sumber ke target = 1 m

Jadi bisa dihitung :

### Radasi bocor

$$K = \frac{Px(d)^2 \times 60 \times I}{W \times T} \quad \text{R m}^2/\text{mA menit perminggu}$$

$K$  = faktor transmisi sinar-X terhadap perisai

$P$  = nilai batas dosis (R/minggu)

$d$  = jarak dari sumber ke operator (m)

$I$  = arus (mA)

$W$  = beban kerja per minggu (mA menit/minggu)

$T$  = faktor penghunian

Beban kerja perminggu ( $W$ ) dapat dihitung dari lama dan banyaknya penyinaran selama seminggu.

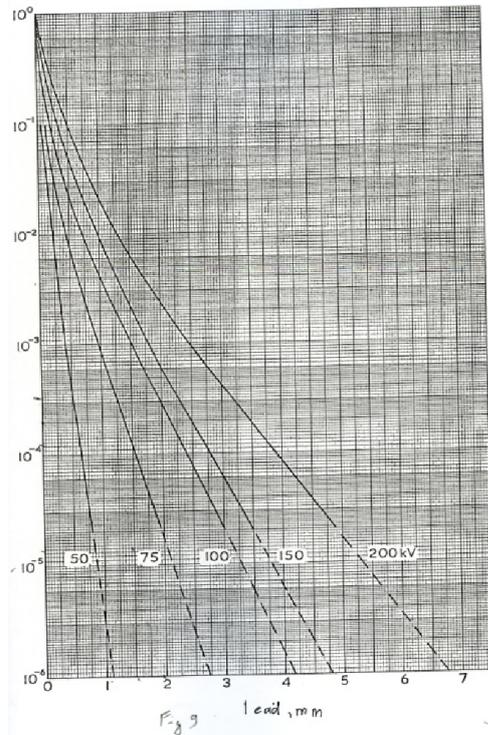
$$\text{mAs} = 30 \text{ mA} \times 2 \text{ s} = 60 \text{ mAs} = 360 \text{ mA menit/penyinaran}$$

Asumsi banyaknya penyinaran perhari 8 kali, sehingga banyaknya penyinaran perminggu =  $5 \times 8 = 40$  kali

$$\text{Jadi } W = 360 \times 40 = 14400 \text{ mA menit/minggu}$$

Faktor penghunian  $T$ , merupakan faktor dimana beban kerja harus dilipat gandakan untuk mengoreksi tingkat atau tipe pemakaian dari daerah yang dibicarakan, untuk ruang kontrol digunakan  $T = 1$ .

$$K = \frac{0,005x(1)^2 x60x30}{14400x1} = 6,25 \times 10^{-4} \text{ R m}^2/\text{mA menit per minggu}$$



Dari grafik antara transmisi dan tebal Pb pada tegangan 34 kV didapat tebal 0,25 mm

=

**Radiasi Hambur :**

$$K = \frac{Px(d_{SCA})^2 x(d_{sec})^2 x400}{\alpha xWxTxFxf} \quad \text{R m}^2/\text{mA menit per minggu}$$

$K$  = faktor transmisi sinar-X terhadap perisai

$P$  = nilai batas dosis (R/minggu)

$d_{SCA}$  = jarak dari sumber ke obyek (m)

$d_{SEC}$  = jarak dari sumber ke operator (m)

$\alpha$  = faktor sudut hambur

$W$  = beban kerja per minggu (mA menit/minggu)

$T$  = faktor penghunian

$F$  = luas bidang penghamburan (cm<sup>2</sup>)

$f$  = faktor kompensasi tegangan

Asumsi sudut hambur  $90^\circ$  ( $\alpha$ ) = 0,0016

Jarak dari sumber ke obyek = SID = 45 cm = 0.45 m

$$K = \frac{0,005 \times (0,45)^2 \times (1)^2 \times 400}{0,0016 \times 14400 \times 1 \times 400 \times 1} = 0,44 \times 10^{-4} \text{ R m}^2/\text{mA menit perminggu}$$

Dari grafik antara transmisi dan tebal Pb pada tegangan 34 kV didapat tebal Pb = 0,25 mm

Tebal perisai radiasi untuk sekunder dari radiasi bocor ( $x_b$ ) dan radiasi hambur ( $x_h$ ) ditentukan dengan mempertimbangkan, jika tebal perisai :

- $|x_b - x_h| < 1$  TVL maka diambil yang terbesar + 1 HVL

- $|x_b - x_h| > 1$  TVL maka diambil yang terbesar.

HVL (*Half Value Layer*) yaitu tebal bahan yang dapat menyerap setengah intensitas paparan radiasi diteruskan tinggal setengah intensitas mula-mula.

TVL (*Tenth Value Layer*) yaitu tebal bahan yang dapat menyerap sepersepuluh intensitas paparan radiasi diteruskan tinggal sepersepuluh intensitas mula-mula.

Nilai TVL = 0,2 mm dan HVL = 0,07 mm

Jika ketebalan yang dibutuhkan kira-kira sama, kita boleh hanya menambahkan lapisan setengah nilai HVL ( $0,5 \times 0,07 \text{ mm} = 0,035 \text{ mm}$ )

Tebal perisai Pb karena radiasi bocor dan hambur adalah sama 0,25 mm.

Maka tebal perisai Pb radiasi sekunder = 0,25 mm + 0,035 mm = 0,285 mm

**Jadi perhitungan tebal perisai radiasi menggunakan bahan Pb = 0,285 mm (0,0285 cm)**

*Karena dipasaran tebal Pb paling tipis adalah 1 mm, maka Pb yang digunakan adalah 1 mm.*

### 3.2.2. Perhitungan tebal radiasi perisai leadglass untuk operator

Menghitung koefisien atenuasi leadglass

Senyawa utama pembentuk *lead glass* : PbO 55%, SiO<sub>2</sub> 40%.

Koefisien atenuasi linier unsur pembentuk bahan perisai pada energy 34 kV.

Unsur	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> /gr)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\mu$ (cm <sup>-1</sup> )	Berat atom
Pb	20	11,34	226,8	207
O	0,2855	0,001429	0,000407979	16
Si	0,9725	2,42	2,35345	28

Menggunakan persamaan :

$$(\mu/\rho)_{\text{lead glass}} = \sum (\mu/\rho)_w$$

dengan :

$\mu/\rho$  = koefisien atenuasi massa

$w$  = fraksi massa

maka diperoleh :

$$(\mu/\rho)_{\text{PbO}} = (207/223 \times 20) + (16/223 \times 0,2855) = 18,585 \text{ /cm}^2/\text{gr}$$

$$(\mu/\rho)_{\text{SiO}_2} = (28/60 \times 0,9725) + (32/60 \times 0,2855) = 0,6060 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Sehingga

$$(\mu/\rho)_{\text{lead glass}} = (0,55 \times 18,585) + (0,4 \times 0,606) = 10,4641 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

$$\rho_{\text{lead glass}} = 4,36 \text{ gr/cm}^3.$$

$$\mu_{\text{lead glass}} = (10,4641) (4,36) = 45,6235 \text{ cm}^{-1}$$

$\mu_{\text{lead glass}}$  digunakan untuk menghitung tebal lead glass.

Menghitung tebal perisai leadglass

Jika menggunakan bahan lead glass dengan menggunakan prinsip ekuivalensi daya serap *Pb* dan berdasarkan beban kerja mingguan ( $W$ ), maka tebal *lead glass* bisa dihitung menggunakan persamaan

$$\mu_1 t_1 = \mu_2 t_2$$

dengan :

$\mu_1$  = koefisien atenuasi linier *Pb*

$t_1$  = tebal perisai radiasi *Pb*

$\mu_2$  = koefisien atenuasi linier *lead glass*

$t_2$  = tebal perisai radiasi *lead glass*

dari perhitungan diperoleh:

$$(226,8)(0,0285) = (45,6235)(t_2)$$

$$t_2 = 0,141 \text{ cm}$$

Jadi berdasarkan perhitungan tebal perisai radiasi lead glass = 0,141 cm. Dari ketentuan keselamatan radiasi telah ditetapkan dari BAPETEN bahwa untuk perisai radiasi operator sinar-X digunakan perisai radiasi dengan tebal 1 mm (0,1 cm) *Pb* atau ekivalen dengan tebal *lead glass*:

$$(226,8)(0,1) = (45,6235)(t)$$

$$t = 0,497 \text{ cm}$$

Karena yang ada dipasaran tebal lead glass paling tipis adalah 1 cm, maka leadglass yang digunakan adalah 1 cm.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada perancangan pemilihan bahan perisai perlu mengetahui data teknis pesawat sinar-X yang digunakan untuk mengetahui berapa besar intensitas hamburan yang dihasilkan. Pemilihan bahan untuk perisai ini bertujuan untuk meminimalisir seorang operator terkena paparan radiasi yang ada didalam ruangan saat pengoperasian pesawat sinar-X mamografi. Bahan-bahan perisai yang digunakan dapat dengan mudah diperoleh dipasaran dan disesuaikan dengan sifat karakteristik hamburan sinar-X yang dihasilkan dari pesawat sinar-X mamografi.

Pemilihan bahan mengacu pada hasil perhitungan daya serap ketebalan bahan terhadap paparan radiasi khususnya sinar-X mamografi dan berapa besar seorang operator terkena paparan radiasi sinar-X setelah paparan radiasi sinar-X melewati ketebalan bahan perisai tersebut. Pada saat penyinaran posisi operator berada dibalik perisai radiasi dari kaca *lead glass* akan mendapat paparan radiasi sekunder yaitu dari radiasi karena bocor dan radiasi hamburan, karena radiasi primer hanya mengarah pada pasien dengan arah kebawah sehingga lantai yang terkena radiasi diabaikan. Tebal kaca *lead glass* pesawat sinar-X mamografi jika dihitung berdasarkan beban kerja mingguan, hanya membutuhkan ketebalan 0,141 cm, tetapi sesuai dengan keselamatan BAPETEN untuk tabir operator sinar-X dibutuhkan tebal perisai radiasi kaca *lead glass* sebesar 0,497 cm ekuivalen dengan pelat *Pb* setebal 1 mm. Hasil perhitungan tersebut kemudian disesuaikan dengan SNI 16-6656-2002 tentang kaca *62able62e* untuk proteksi radiasi sinar-X seperti yang di sajikan pada table1.

Tabel 1. Ketebalan nominal, ketebalan maksimum, ketebalan minimum dan ekuivalensi minimum untuk *lead glass*

Ketebalan nominal (cm)	Ketebalan maksimum (mm)	Ketebalan minimum (mm)	Ekivalensi Timbal minimum (mm Pb)
0,65	5,5	5,0	1,10
0,75	7,5	6,0	1,32
1,00	10,0	8,5	1,87
1,20	12,0	10,0	2,20
1,45	14,5	12,5	2,75

Dari 62able diatas untuk ekuivalensi tebal *Pb* minimum sebesar 1,10 mm *Pb* dibutuhkan tebal nominal *lead glass* sebesar 0,65 cm. tetapi berhubung tebal *lead glass* yang ada dipasaran paling tipis adalah 0,7 cm, maka digunakan tebal *lead glass* 7 mm<sup>[5]</sup>. Dengan tebal 1 cm hal ini berarti penggunaan perisai *lead glass* ± 2 kali batas aman dari paparan radiasi sinar-X untuk seorang operator. Sedangkan perisai bagian bawah digunakan bahan yang paling umum dipakai sebagai perisai radiasi, yaitu pelat *Pb*<sup>[6]</sup> dengan ketebalan bahan pelat 1 mm.

#### 5. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan perancangan konsul untuk operator pada perkerayaan pesawat sinar-X mamografi dapat disimpulkan bahwa :

- a) Bahan yang digunakan sebagai *shielding* terdiri dari 2 bahan yaitu *lead glass* dengan dimensi lebar 65 cm x tinggi 105 cm x tebal 1 cm dan pelat *Pb* dengan dimensi lebar 65 cm x tinggi 69 cm x tebal 1 mm.
- b) Spesifikasi perisai radiasi sinar-X *mamografi* tebal perisai radiasi lead glass = 0,141 cm dan tebal *Pb* = 0,285 mm (0,0285 cm).
- c) Perancangan meja konsul pengendali untuk operator pada perekayasa pesawat sinar-X mamografi dengan dimensi keseluruhan tinggi 175 Cm x panjang 61 Cm x lebar 67 Cm.
- d) Perancangan perisai radiasi sinar-X *mamografi* berfungsi sebagai pelindung untuk keselamatan seorang petugas operator dari bahaya paparan radiasi pesawat sinar-X mamografi.

## **5. DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. Budi Santoso, *Laporan Jaminan Mutu PRPN*, 2013
- [2]. Anonim, *Radiasi Sinar X Kumpulan Tugas Tugas Kuliah Fisika*, tugasmahasiswaibuk.blogspot.com/2012/09/Radiasi-Sinar-X, diunduh Pada Hari Kamis Tanggal 18 September 2013.
- [3]. Anonim, *Bagaimana Memproteksi Diri Dari Radiasi ?* www.Infonuklir.Com/.../Bagaimana-Memproteksi-Diri, diunduh Tgl 16 Oktober 2013.
- [4]. Anonim, <http://femajalahwanita.wordpress.com/2012/12/13/trik-sederhana-agar-postur-nampak-tinggi/>, diunduh 5 September 2013.
- [5]. Kristiyanti, Budi Santoso “ *Penentuan Tebal Lead Glass Sebagai Bahan Perisai Radiasi Operator Pesawat Sinar X Mamografi* “, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, PTAPB – BATAN, Yogyakarta, 11 September 2013.
- [6]. <http://Penemuan-Sinar-X.html>, diunduh 5 September 2013.