



## KARAKTERISASI KACA TIMBAL UNTUK PENANGKAP CITRA SINAR-X

Kristiyanti<sup>1</sup>, Istofa<sup>2</sup>, Beny Syawaludin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 71, Tangerang Selatan, 153100

### ABSTRAK

*KARAKTERISASI KACA TIMBAL UNTUK MENANGKAP CITRA SINAR-X . Telah dilakukan karakterisasi kaca timbal untuk penangkap citra sinar-X. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui kualitas kaca timbal terhadap daya serap sinar-X dan transmisi cahaya. Perangkat sinar-X akan dioperasikan pada tegangan operasi 60 KeV. Perhitungan teoritis daya serap sinar-X di dasarkan pada asumsi komposisi kaca timbal yang dominan yaitu SiO<sub>2</sub>, PbO, kemudian di tentukan massa jenis ( $\rho$ ) dan koefisien serapan linier ( $\mu$ ). Sedangkan transmisi cahaya dihitung menggunakan Light Dependent Resistor (LDR). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa kaca timbal dengan tebal 1,7 cm mampu menyerap radiasi sinar-X dan masih bisa meneruskan cahaya sesuai dengan ketentuan dari SNI 16-656-2002 tentang kaca timbal untuk proteksi sinar-X. Kesimpulan dari karakterisasi ini adalah kaca timbal memenuhi standar untuk digunakan pada penangkap citra sinar-X.*

*Kata Kunci : kaca timbal, sinar-X, daya serap.*

### ABSTRACT

*CHARACTERIZATION OF LEAD GLASS FOR CAPTURE X-RAY IMAGES. Characterization has been made of lead glass for X-ray image capture. This characterization aims to determine the quality of the lead glass to X-ray absorption and light transmission. X-ray machine will be operated at the operating voltage of 60 keV. Theoretical calculations of X-ray absorption is based on the assumption that the dominant composition of lead glass is SiO<sub>2</sub>, PbO, then specify the density ( $\rho$ ) and the linear absorption coefficient ( $\mu$ ). While the light transmission is calculated using Light Dependent Resistor (LDR). The results show that the characterization of lead glass with a thickness of 1.7 cm is capable of absorbing radiation X-ray light and still be able to continue in accordance with the provisions of SNI 16-656-2002 about lead glass for X-ray protection. The conclusion of this characterization is to meet the standards of lead glass for use in X-ray image capture*

*Keywords: lead glass, X-ray, absorption.*

## 1. PENDAHULUAN

Keselamatan radiasi merupakan suatu cabang ilmu pengetahuan yang mempelajari masalah keselamatan dan kesehatan manusia. Salah satu aplikasi radiasi nuklir untuk kesehatan di bidang kedokteran khususnya unit radiologi yaitu penyinaran untuk tujuan diagnosa dengan pemeriksaan menggunakan sinar-X.

PRPN-BATAN telah melakukan perkerjasama perangkat penangkap citra sinar-X berbasis layar pendar. Perangkat tersebut terdiri dari <sup>[1]</sup> :

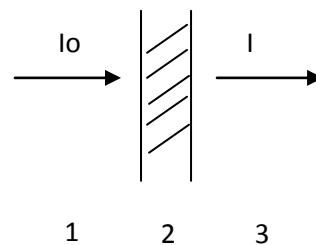
- Layar pendar berfungsi untuk mengubah sinar-X yang datang menjadi cahaya tampak.
- Kaca timbal berfungsi untuk melindungi kamera dan peralatan elektronik lain dari paparan sinar-X.
- Kamera berfungsi untuk menangkap citra yang terbentuk pada layar pendar akibat interaksi sinar-X dengan objek yang diamati.
- Catu daya berfungsi untuk memasok tegangan kerja bagi kamera.
- Pengolah data.



Dalam makalah ini akan dibahas tentang karakterisasi kaca timbal yang digunakan. Kaca timbal untuk peralatan sinar-X harus memenuhi standar dari SNI-16-6656-2002 yaitu tentang kaca timbal untuk proteksi radiasi sinar-X<sup>[2]</sup>. Dalam ketentuan standar tersebut diantaranya dinyatakan bahwa daya serap (DS) radiasi sinar-X pada ketebalan nominal 1.45 cm ekuivalen dengan timbal (Pb) 2.75 mm dan daya tembus cahaya tidak boleh kurang dari 80%. Perhitungan DS terhadap sinar-X menggunakan prinsip bahwa DS merupakan fungsi dari koefisien serapan massa dan tebal kaca sedangkan pengujian untuk kemampuan daya tembus cahaya menggunakan LDR. Dari hasil karakterisasi diharapkan kaca timbal yang akan digunakan mampu melindungi kamera dan peralatan elektronik sehingga kaca timbal tersebut layak digunakan.

## 2. TEORI

Kaca timbal berfungsi untuk melindungi kamera dan peralatan elektronik lain dari paparan sinar-X tetapi kemampuannya untuk meneruskan cahaya masih sesuai standar yang ditentukan. Sebagai perisai radiasi, penyerapan ini tidak lain adanya interaksi radiasi sinar-X dengan unsur pembentuk senyawa kaca timbal, yang berakibat terpindahkannya energi radiasi kepada unsur tersebut. Mekanisme penyerapan radiasi oleh kaca timbal dapat dijelaskan sesuai Gambar 1.



1. Arah radiasi yang datang
2. Tebal kaca timbal.
3. Arah radiasi yang keluar.

Gambar 1. Mekanisme penyerapan radiasi.

Kaca timbal yang digunakan sebagai penangkap citra sinar-X memerlukan spesifikasi tertentu. Diantaranya harus mampu menyerap radiasi sinar-X tetapi mampu meneruskan cahaya. Hubungan penyerapan radiasi bisa dinyatakan :

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana :

- $I_0$  = Intensitas sinar masuk yang dinyatakan dalam cacahan
- $I$  = Intensitas sinar keluar yang dinyatakan dalam cacahan
- $\mu$  = Koefisien serapan linier (cm<sup>-1</sup>)
- $x$  = Tebal kaca timbal (cm).

Intensitas sinar keluar merupakan fungsi dari koefisien serapan linier. Dimana koefisien tersebut bisa dicari dari daftar koefisien serapan massa untuk masing-masing unsur pembentuk senyawa kaca timbal untuk energy 60 keV sesuai dengan pemakaian seperti pada Tabel 1 .



Tabel 1. Koefisien serapan massa untuk energy 60 keV <sup>[4]</sup>.

| Unsur | $\mu/\rho$<br>( $\text{cm}^2/\text{gr}$ ) | $\rho$<br>( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) | $\mu$<br>( $\text{cm}^{-1}$ ) |
|-------|---|---------------------------------------|-------------------------------|
| Pb    | 4,47                                      | 11,34                                 | 50,6898                       |
| O     | 0,181                                     | 0,001429                              | 0,0002586                     |
| Si    | 0,292                                     | 2,42                                  | 0,70664                       |

Sedangkan DS kaca timbal bisa dinyatakan

$$DS = (1 - e^{-\mu x}) \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

- DS = daya serap  
 $\mu$  = Koefisien serapan linier ( $\text{cm}^{-1}$ )  
 $x$  = Tebal kaca timbal (cm).

Kaca timbal mempunyai unsur utama  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnO}$  dan  $\text{BaO}$  <sup>[3]</sup>. Dalam makalah ini untuk mempermudah perhitungan, maka di asumsikan hanya senyawa  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{PbO}$  yang di perhitungkan, sedangkan senyawa yang lain bisa diabaikan karena disamping prosentase kandungannya kecil masa jenisnya relatif rendah sehingga kemampuan DS nya rendah. Sedangkan kemampuan untuk meneruskan cahaya di uji berdasarkan prinsip persentase daya serap cahaya menggunakan LDR (*Light Dependent Resistor*).

Menurut Standar Indonesia (SNI 16-6656-2002) yaitu tentang kaca timbal untuk proteksi radiasi sinar-X, dinyatakan seperti disajikan pada tabel 2. <sup>[4]</sup>

Tabel 2 Ketebalan Ekuivalen Kaca Timbal terhadap Timbal

| Ketebalan Nominal | Ketebalan Maksimum (mm) | Ketebalan Minimum (mm) | Ekuivalen timbal minimum (mm Pb) |
|-------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------|
| 0.65              | 6.5                     | 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                             |

Kemampuan untuk meneruskan cahaya, tergantung pada kejernihan dimana kejernihan terletak antara 80% sampai 85%.

## 2.1 Perhitungan Daya Serap Kaca Timbal Terhadap Sinar-X

Daya serap kaca timbal bergantung kepada besar kecilnya penampang serapan linear total ( $\sum\alpha$ ) dari unsur pembentukan kaca timbal. Timbal ini diperlukan karena mempunyai  $\sum\alpha$  cukup besar, sehingga kaca timbal akan mampu menyerap radiasi sinar-X. Selain itu juga bergantung pada jumlah atom unsur pembentuk kaca atau jumlah molekul kaca. Jumlah ini akan bergantung pula kepada massa jenis kaca, sehingga dalam perhitungan harus diperoleh masa jenis bahan kaca, dan volume spesifik kaca <sup>[4]</sup>

Langkah perhitungan daya serap kaca timbal terhadap radiasi sinar-X adalah sebagai berikut : <sup>[5]</sup>

- a. Menentukan fraksi oksida ( $S_M$ ) dalam senyawa, digunakan persamaan :

$$SM = \frac{\text{Jumlah atom oksigen dalam formula kimia}}{\text{Berat molekul}} \quad (3)$$

- b. Setelah  $S_M$  didapat, langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah gram atom unsur pembentuk senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) per gram oksigen ( $N_{\text{si}}$ )



$$N_{Si} = \frac{(f_{Si}) \times S_m}{2 \times (F_{Si} + F_{S_1} + F_{S_2} + \dots)} \quad (4)$$

Dimana :

- $N_{Si}$  = Jumlah gram atom Si per gram atom oksigen
- $F_{Si}$  = Fraksi berat  $SiO_2$  dalam kaca
- $F_1, F_2$  = Fraksi berat masing-masing senyawa
- $S_1, S_2$  = Jumlah atom oksigen dalam masing-masing senyawa dibagi berat masa senyawa

c. Menurut Huggins and Sim besarnya nilai  $N_{Si}$  terbagi dalam 4 kolom seperti dalam tabel 3.[5]

Tabel 3. Harga  $N_{Si}$  dan kolom penggunaan

| $N_{Si}$      | Kolom |
|---------------|-------|
| 0.270 – 0.345 | A     |
| 0.345 – 0.400 | B     |
| 0.400 – 0.435 | C     |
| 0.435 – 0.500 | D     |

Nilai  $N_{Si}$  dihitung berdasarkan persamaan (4), maka tinggal mencocokkan dengan Tabel 3, harga tersebut apakah berada pada kolom A,B,C atau D.

Dari kolom tersebut akan diketahui besarnya konstanta volume spesifik senyawa pembentuk kaca timbal seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Konstanta Volume spesifik  $V_M$ . [6]

| Oksida    | A      | B      | C      | D      |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| $SiO_2$   | 0.4063 | 0.4281 | 0.4409 | 0.4542 |
| $PbO$     | 0.106  | 0.0955 | 0.0926 | 0.0807 |
| $Na_2O$   | 0.373  | 0.349  | 0.324  | 0.281  |
| $K_2O$    | 0.390  | 0.374  | 0.357  | 0.329  |
| $B_2O_3$  | 0.590  | 0.526  | 0.460  | 0.345  |
| $Al_2O_3$ | 0.462  | 0.418  | 0.373  | 0.294  |
| $FeO_3$   | 0.282  | 0.255  | 0.225  | 0.176  |
| $CaO_2$   | 0.285  | 0.259  | 0.231  | 0.184  |
| $MgO$     | 0.397  | 0.360  | 0.322  | 0.256  |
| $ZnO$     | 0.205  | 0.187  | 0.168  | 0.135  |

Kolom ini disusun agar dapat digunakan untuk memprediksi volume spesifik dari kaca timbal. Volume spesifik bisa dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V_{sp} = \sum V_{mi} \times \text{Fraksi berat} \quad (5)$$

Dimana :

- $V_{sp}$  = Volume spesifik
- $V_{mi}$  = Konstanta spesifik masing-masing senyawa

d. Dihitung masa jenis spesifik ( $\rho$ ) digunakan persamaan :

$$\rho = \frac{G}{V_{sp}} \quad (6)$$



$\rho$  = masa jenis spesifik (gram/cm<sup>3</sup>)  
G = Basis berat (gram)  
V<sub>sp</sub> = Volume spesifik (cm<sup>3</sup>)

- e. Dihitung koefisien penampang serapan ( $\Sigma\mu$ ) masing-masing senyawa dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$\mu_{komposisi} = \rho_{komposisi} \times \sum w_i (\mu/\rho)_i \quad (7)$$

$\mu_{komposisi}$  = koefisien serapan linier komposisi cm<sup>-1</sup>  
 $w_i$  = fraksi berat unsur dalam senyawa.  
 $(\mu/\rho)_i$  = koefisien serapan massa komposisi pembentuk senyawa.

## 2.2. Daya Tembus Cahaya

Digunakan peralatan LDR (*Light Dependent Resistor*) untuk pengujian penyerapan cahaya terhadap kaca timbal dengan ketebalan 1.7 cm. Pengujian dilakukan dengan cahaya alam, untuk melihat pengaruh penyerapan cahaya berwarna, LDR dilapisi plastik biru, hijau, kuning, merah. Daya tembus cahaya menggunakan persamaan :

$$\text{Daya tembus} = \left(1 - \frac{(I-I_0)}{I_0}\right) \times 100\% \quad (8)$$

## 3. METODOLOGI

Karakterisasi kaca timbal meliputi :

- Pengukuran daya serap paparan radiasi dengan menggunakan peralatan sinar-X
- Perhitungan teoritis daya serap kaca timbal dengan menentukan komposisi (menentukan kandungan PbO dalam senyawa)
- Pengukuran daya tembus cahaya menggunakan LDR.

### 3.1. Pengukuran daya serap sinar-X

Bahan dan peralatan yang digunakan :

- Sampel kaca timbal ukuran 15 x 20 cm dengan tebal 1,7 cm
- Pelat Pb tebal 3 mm
- Pesawat sinar-X.

Pengukuran menggunakan pesawat sinar-X dengan jarak 97 cm tegangan 60 KV arus 40 mA didapatkan hasil cacahan sebagai berikut :

Tanpa sampel ( $I_0$ ) = 2.040.000 cpm  
Pelat Pb ( $I$ ) = 1.080 cpm  
Kaca timbal ( $I$ ) = 2.040 cpm

Daya serap pelat Pb = 99,95 %

Daya serap kaca timbal = 99,9 %.

Hasil pengukuran dengan peralatan sinar-X menunjukkan bahwa daya serap kaca timbal ekivalen dengan pelat Pb tebal 3 mm yaitu 99,9 %.

### 3.2. Perhitungan teoritis daya serap kaca timbal melalui tahapan-tahapan :

- Diukur masa jenis kaca timbal yang ada dengan cara kaca ditimbang dan diukur volumenya.
- Diasumsikan senyawa kaca timbal dengan kandungan timbal (PbO).
- Dibuat komposisi kandungan PbO 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%
- Dihitung masa jenis ( $\rho$ ), koefisien serapan linier ( $\mu$ ) dan daya serap untuk masing-masing komposisi.



- Ditentukan komposisi kaca timbal dengan kandungan PbO Dengan cara masa jenis terukur diekivalensikan dengan masa jenis teoritis .
  - Didapatkan prosentase kandungan PbO pada kaca timbal
- Sehingga bisa diketahui daya serap teoritis kaca timbal pada komposisinya

### 3.3 Contoh perhitungan DS kaca timbal untuk komposisi 10% PbO.

Basis perhitungan 1 gram kaca timbal.

Komposisi kaca timbal SiO<sub>2</sub>. PbO.

Kandungan PbO = 10 %.

Berat Atom (BA) Pb = 207

Si = 28

O = 16

Berat Molekul (BM) PbO = 223, massa jenis ( $\rho$ ) = 6,6

Berat Molekul (BM) SiO<sub>2</sub> = 60, massa jenis ( $\rho$ ) = 2,2.

Dihitung fraksi oksida ( $S_M$ ) sesuai Persamaan 3 :

$$S_M \text{ PbO} = 1/223 = 0,0044843$$

$$S_M \text{ SiO}_2 = 2/60 = 0,0333.$$

Jumlah gram atom Si pergram atom oksigen ( $N_{Si}$ ) sesuai Persamaan 4.

$$N_{Si} = \frac{(0,9)(0,003)}{2((0,1)(0,00044843) + (0,9)(0,03))}$$
$$= 0,499$$

Harga  $N_{Si}$  dimasukkan dalam Tabel 3 untuk menentukan kolom didapatkan kolom D.

Ditentukan konstanta volume spesifik  $V_m$  dari tabel 4. Didapatkan harga :

$$\text{SiO}_2 = 0,4542 \text{ (prosen berat 90 \%)}$$

$$\text{PbO} = 0,0807 \text{ (prosen berat 90 \%)}$$

$$\text{Vol}_{\text{spesifik}}(V_{sp}) = (0,9)(0,4542) + (0,1)(0,0807) = 0,499$$

$$\text{Massa Jenis } (\rho) = \frac{1}{(0,41685)} = 2,3989 \frac{\text{gram}}{\text{m}^3}$$

$$(\mu/\rho)\text{PbO} = (207/223 \times 447) + (16/223 \times 0,181) = 4.162$$

$$(\mu/\rho)\text{SiO}_2 = (28/60 \times 0,292) + (32/60 + 0,181) = 0.2328$$

$$(\mu/\rho)\text{Komposisi} = 0,1/1 (4,162) + 0,9/1 (0,2328) = 0.6257 \%$$

$$\mu \text{ Komposisi} = (0,62572) \times (2,3989) = 1,5$$

Dengan menggunakan persamaan (2) bisa dihitung DS

$$\text{DS} = (1 - e^{-\mu t}) \times 100\%$$
$$= (1 - e^{-(1,5)(1,7)}) \times 100\%$$
$$= 92,19\%$$

Begitu seterusnya untuk komposisi PbO lainnya.

### 3.4. Perhitungan Daya Tembus Cahaya

Digunakan peralatan LDR (*Light Dependent Resistor*) untuk pengujian penyerapan cahaya terhadap kaca timbal dengan ketebalan 1.7 cm. Pengujian dilakukan dengan cahaya alam,



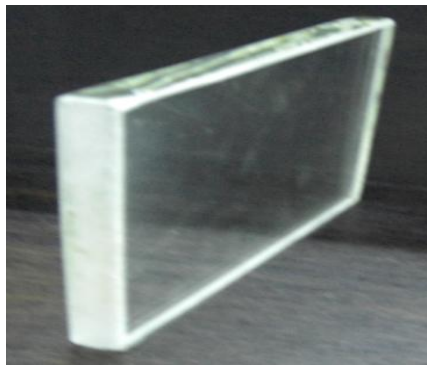
untuk melihat pengaruh penyerapan cahaya berwarna, LDR dilapisi plastik biru, hijau, kuning, merah. Daya tembus cahaya menggunakan persamaan :

$$\text{Daya tembus} = \left(1 - \frac{(I - I_0)}{I_0}\right) \times 100\% \quad (9)$$

Perhitungan untuk jenis penghalang bisa diukur dengan cara LDR dilapisi plastik. Plastik bisa diukur intensitasnya sebagai  $I_0$  kemudian dipasang kaca timbal diukur intensitasnya sebagai  $I$ . Dengan menggunakan persamaan 9 maka daya tembus bisa dihitung. Demikian juga penghalang kaca lain.

#### 4.HASIL DAN PEMBAHASAN

Kaca timbal (*lead glass*) merupakan kaca yang terbuat dari timbal (Plumbum – Pb). Kaca timbal berfungsi untuk melindungi kamera dan peralatan elektronik lain dari paparan sinar-x. Dimensi kaca timbal yang digunakan adalah 15 cm x 20 cm dengan ketebalan 1,7 cm. Gambar 1 memperlihatkan foto dari kaca timbal yang digunakan.



Gambar 1. Kaca timbal (*lead glass*)

Perhitungan dengan asumsi kaca timbal mempunyai komposisi  $\text{SiO}_2$ , PbO dengan basis perhitungan 1 gram kaca timbal. Perhitungan secara teoritis DS untuk komposisi PbO 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan tebal kaca timbal = 1.7 cm dengan menggunakan persamaan 2 disajikan seperti dalam tabel 6

Tabel 6 . Hasil perhitungan teoritis DS kaca timbal dengan kandungan PbO pada energi 60 KeV

| PbO (%) | $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> ) | $\mu$ (cm <sup>-1</sup> ) | DS (%) | Pelat Pb (mm) |
|---------|------------------------------|---------------------------|--------|---------------|
| 10      | 2.3989                       | 1.5                       | 92.19  | 0.50          |
| 20      | 2.6357                       | 2.6848                    | 93.5   | 0.54          |
| 30      | 2.9227                       | 4.1255                    | 99.91  | 1.38          |
| 40      | 3.2800                       | 5.9187                    | 99.99  | 1.98          |
| 50      | 3.7390                       | 8.2160                    | 99.99  | 2.75          |
| 60      | 4.3459                       | 11.2573                   | 99.99  | 3.77          |

Hasil pengukuran berat dan volume kaca timbal didapat harga massa jenis ( $\rho$ ) 4,1 gr/cm<sup>3</sup> sehingga bisa diperkirakan dari Tabel 6 kaca gelas tersebut mempunyai kandungan PbO 60% . Dari Tabel 6 bisa diketahui pada komposisi PbO 60 % jika dikehendaki daya serapnya 99,99 % maka tebal yang dibutuhkan bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut :

$$99,99 = 100 - e^{-(11,2573) \times x}$$
$$x = 0,40 \text{ cm}$$



Jadi dengan tebal 0,40 cm kemampuan DS kaca timbal sudah 99,99 %  
Kaca timbal yang dipakai dari hasil pengukuran mempunyai tebal 1,7 cm hal ini disebabkan karena dipasaran yang ada hanya ketebalan tersebut.  
Untuk standar SNI ekivalensi pelat Pb tebal 2,75 mm jika diukur pada energy 60 keV , mempunyai koefisien serapan linier  $\mu = 50,6898$  sehingga didapatkan DS = 99,99%, sehingga kaca timbal yang dipakai sudah memenuhi standar.  
Pengujian daya tembus cahaya menggunakan LDR seperti disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Daya Tembus Cahaya

| Jenis Penghalang | Intensitas          |       | Daya Tembus |
|------------------|---------------------|-------|-------------|
|                  | $I_0$ (K $\Omega$ ) | I     |             |
| Cahaya alam      | 4,25                | 4,72  | 88,9        |
| Plastik biru     | 5,25                | 5,67  | 92          |
| Plastik hijau    | 12,29               | 13,22 | 92          |
| Plastik kuning   | 5,15                | 5,58  | 91          |
| Plastik merah    | 17,05               | 18,4  | 92          |

Daya tembus kaca timbal yang mempunyai tebal 1,7 cm sebetulnya masih bisa diperbesar dengan memperkecil tebal sampai 0,40 cm, karena masih memenuhi standar daya serap. Kaca timbal yang terlalu tebal dikawatirkan akan menimbulkan deviasi cahaya.

#### 4. KESIMPULAN

Kaca timbal yang digunakan diperkirakan mempunyai kandungan PbO 60 % dengan tebal 1,7 cm mempunyai daya serap 99,99 % dan daya tembus cahaya lebih dari 80 %. Dari hasil pembahasan karakterisasi di atas dapat disimpulkan bahwa kaca timbal sudah memenuhi persyaratan.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini kami ucapkan terima kasih kepada Bpk. Ir. Sri Mulyono Atmojo dari PRPN-BATAN yang telah membimbing dalam penyusunan makalah ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. SANTOSO W.B., Perekayasa Perangkat Penangkap Citra Sinar-X berbasis Layar Pendar, PRPN-BATAN, 2011.
2. SNI 16-6656-2002, Kaca Timbal untuk proteksi sinar-X, Badan Standarisasi Nasional, 2002.
3. HARJANTO T, Energi konsentrasi Timbal terhadap Sifat fisis Paduan gelas Timbal, Prosiding Seminar Instrumentasi dan Rekayasa hasil Penelitian tahun 2001, P2PN-BATAN, 2006.
4. JAEGER R.G., Engineering Compendium on Radiation Shielding Fundamentals and Methods, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1979.
5. ATMOJO S.M., Penentuan Daya Serap Kaca Borosilika terhadap radiasi neutron berdasar komposisi Boron Oksida, Prosiding Seminar Nasional Keramik III, P2PN-BATAN, 2005.
6. TOOLEY F.V., The Handbook of glass manufacture, Vol I and II 3rd edition, Books for glass industry Division Ashlee Publishing, Inc, New York, 1993.

#### PERTANYAAN :

1. Secara teoritis kenapa warna berbeda bisa berpengaruh? (MARADU SIBARANI)
2. Apakah menurut SNI tebal Shielding untuk manusia sama dengan untuk alat ( LELY YUNIARSARI)

#### JAWABAN :

1. Belum dipelajari. Pengukuran dengan memakai LDR sebelum dan sesudah.
2. SAMA.