

KARAKTERISASI KACA TIMBAL UNTUK PELINDUNG PENANGKAP CITRA SINAR-X

Kristiyanti, Istofa, Beny Syawaludin
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN
Kawasan Puspiptek Gd.71, Lt.2 Serpong

ABSTRAK

KARAKTERISASI KACA TIMBAL UNTUK PELINDUNG PENANGKAP 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. Perhitungan teoritis daya serap terhadap sinar-X didasarkan pada asumsi komposisi senyawa pembentuk kaca timbal yang dominan yaitu SiO_2 , PbO , yang kemudian di tentukan massa jenis (ρ) dan koefisien serapan linear (μ). 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 mampu 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

A CHARACTERIZATION OF LEAD GLASS SHIELDING FOR X-RAY IMAGES CAPTURER. A Characterization of lead glass shielding for X-ray image capture has been conducted. The characterization aim is to determine the quality of the lead glass both to X-ray absorption and light transmission. Theoretical calculations of X-ray absorption are based on the assumption that the dominant composition of lead glass is SiO_2 , PbO , which is then specified its density (ρ) and its linear absorption coefficient (μ), while its 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 while the light still be able pass in accordance with the provisions of SNI 16-656-2002 about lead glass for X-ray protection. The conclusion of this characterization is that the lead glass meets the standards of lead glass for use in X-ray image capture.

Keywords: lead glass, X-ray, absorption

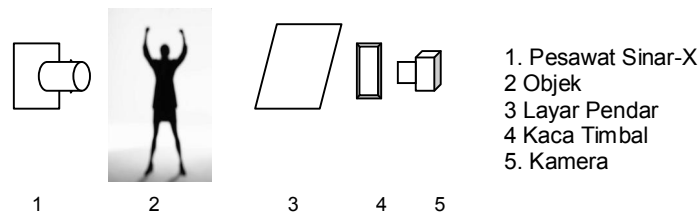
1. PENDAHULUAN

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 menggunakan sinar-X.

PRPN-BATAN telah melakukan perkerayaan perangkat penangkap citra sinar-X berbasis layar pendar. Perangkat tersebut terdiri dari ^[1] :

- 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^[2]. 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. Kamera yang digunakan memiliki komponen CCD (*Charge Couple Device*) yang rentan mengalami kerusakan bila terkena paparan radiasi yang terus menerus. Dari hasil karakterisasi diharapkan kaca timbal yang akan digunakan mampu melindungi kamera dan peralatan elektronik sehingga kaca timbal tersebut layak digunakan. Posisi kaca timbal harus sedemikian rupa sehingga kamera terlindungi dari paparan radiasi sinar-x seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata Letak Kaca Timbal pada Perangkat Penangkap Citra Sinar-X

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 2.



Gambar 2. 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 :

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

Dimana :

- I_o = Intensitas sinar masuk yang dinyatakan dalam cacahan
- I = Intensitas sinar keluar yang dinyatakan dalam cacahan
- μ = Koefisien serapan linier (cm⁻¹)
- 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 ^[4].

Unsur	μ/ρ (cm ² /gr)	ρ (gr/cm ³)	μ (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

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

Kaca timbal mempunyai unsur utama SiO₂, PbO, Na₂O, K₂O, ZnO dan BaO ^[3]. Dalam makalah ini untuk mempermudah perhitungan, maka di asumsikan hanya senyawa SiO₂ dan PbO yang di perhitungan, 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. ^[4].

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%.

Perhitungan Daya Serap Kaca Timbal Terhadap Sinar-X

Daya serap kaca timbal bergantung kepada besar kecilnya penampang serapan linear total ($\Sigma\alpha$) 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.^[4] Langkah perhitungan daya serap kaca timbal terhadap radiasi sinar-X adalah sebagai berikut :^[5]

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

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

- b. Setelah S_M didapat, langkah selanjutnya adalah menentukan jumlah gram atom unsur pembentuk senyawa silika (SiO_2) per gram oksigen (N_{Si})

$$NSi = \frac{(fsiXS_m)}{2X(FiSi + F2S2\dots)} \dots\dots\dots(4)$$

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
- $Si_1,$ = Jumlah atom oksigen dalam masing-masing senyawa dibagi
- S_2 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 :

$$V_{sp} = SV_{mi}XFraksiberat \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

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

d. Dihitung masa jenis spesifik (ρ) digunakan persamaan :

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

ρ = masa jenis spesifik (gram/cm³)
 G = Basis berat (gram)
 V_{sp} = Volume spesifik (cm³)

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

$$\epsilon_{asenyawa} = T_{senyawa} S_{wi} \epsilon_{\alpha} \dots\dots\dots(7)$$

ϵ_{α} = koefisien penampang serapan cm⁻¹
 w_i = fraksi berat unsur dalam senyawa.

f. Daya serap kaca timbal bisa dihitung :

$$DS = (1 - e^{-\epsilon\alpha X}) \times 100\% \dots\dots\dots(8)$$

ϵ_{α} : Koefisien penampang lintang serapan kaca timbal untuk setiap komposisi, cm⁻¹

X : Tebal kaca timbal, cm

Contoh perhitungan DS kaca timbal untuk komposisi 10% PbO :

Basis perhitungan 1 gram kaca timbal.

Komposisi kaca timbal SiO₂. PbO.

Kandungan PbO = 10 %.

Berat Atom (BA) Pb = 207

Si = 28

O = 16

Berat Molekul (BM) PbO = 223, massa jenis (ρ) = 6,6

Berat Molekul (BM) SiO₂ = 60, massa jenis (ρ) = 2,2.

Dihitung fraksi oksida (S_M) sesuai Persamaan 3 :

S_M PbO = 1/223 = 0,0044843

S_M SiO₂ = 2/60 = 0,0333.

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

$$N_{Si} = \frac{(0.9)(0.003)}{2(0.1)(0.0044843) + (0.9)(0.003)} = 0.499$$

Harga NSi dimasukkan dalam Tabel 3 untuk menentukan kolom didapatkan kolom D. Ditetapkan konstanta volume spesifik Vm dari tabel 4. Didapatkan harga :

$$\begin{aligned} \text{SiO}_2 &= 0,4542 \text{ (prosen berat 90 \%)} \\ \text{PbO} &= 0,0807 \text{ (prosen berat 90 \%)} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} (\mu/\rho)_{\text{PbO}} &= (207/223 \times 447) + (16/223 \times 0,181) \\ &= 4,162 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\mu/\rho)_{\text{SiO}_2} &= (28/60 \times 0,292) + (32/60 + 0,181) \\ &= 0,2328 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\mu/\rho)_{\text{Komposisi}} &= 0,1/1 (4,162) + 0,9/1 (0,2328) \\ &= 0,6257 \text{ \%} \end{aligned}$$

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

Dengan menggunakan persamaan (2) bisa dihitung DS

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

Begitu seterusnya untuk komposisi PbO lainnya.

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 :

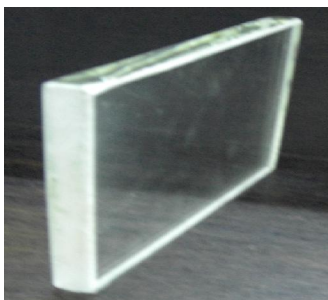
$$\text{Daya tembus} = \left(1 - \frac{(I - I_0)}{I_0} \right) \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Perhitungan untuk jenis penghalang bisa diukur dengan cara LDR dilapisi plastik. Plastik bisa diukur intensitasnya sebagai I₀ kemudian dipasang kaca timbal diukur intensitasnya sebagai I. Dengan menggunakan persamaan 9 maka daya tembus bisa dihitung. Demikian juga penghalang kaca lain

3. 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 3 memperlihatkan foto dari kaca timbal yang digunakan.



Gambar 3. Kaca timbal (*lead glass*)

Perhitungan dengan asumsi kaca timbal mempunyai komposisi 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 (%)	ρ (gr/cm^3)	μ (cm^{-1})	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 (ρ) 4,1 gr/cm^3 sehingga bisa diperkirakan dari Tabel 6 kaca gelas tersebut mempunyai kandungan PbO 60% .

Pengujian DS dengan menggunakan pesawat sinar-X dengan jarak 97cm, tegangan 60 keV, arus 40 mA, didapatkan DS kaca timbal ekivalen dengan tebal pelat Pb kurang dari 3 mm. Dari Tabel 6 bisa diketahui bahwa DS nya sampai 99,99 %. Jika DS yang dikehendaki 99,99 % yaitu mulai pada komposisi PbO 40 % maka kebutuhan tebal kaca timbal bisa dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 sebagai berikut :

$$99,99 = 100 - e^{-(5,9187) \times x}$$

$$x = 0,78 \text{ cm.}$$

Jadi dengan tebal 0,78 cm kemampuan DS kaca timbal sudah 99,99 %

Penggunaan tebal 1,7 cm disebabkan karena dipasaran yang ada hanya ketebalan tersebut.

Untuk standar SNI ekivalensi pelat Pb tebal 2,75 mm jika diukur pada energy 60 keV , $\mu = 50,6898$ didapatkan DS = 99,99%.

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 Ω)	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 sebetulnya masih bisa diperbesar dengan memperkecil tebal. Kaca timbal yang terlalu tebal dikawatirkan juga akan menimbulkan deviasi cahaya.

5. KESIMPULAN.

Kaca timbal dengan tebal 1,7 cm terlalu tebal untuk pelindung penangkap citra sinar-x karena dari hasil perhitungan teoritis tebal 0,78 cm sudah mempunyai DS 99,99%. Dari hasil pembahasan karakterisasi di atas dapat disimpulkan bahwa kaca timbal setebal 1,7 cm yang ada di pasaran sudah memenuhi persyaratan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

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

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Santoso W.B., 2011, *Perekayasaan Perangkat Penangkap Citra Sinar-X Berbasis Layar Pendar*, PRPN-BATAN.
- [2]. Anonim, 2002, *Kaca Timbal Untuk Proteksi Sinar-X*, SNI 16-6656-2002, Badan Standarisasi Nasional.
- [3]. Harjanto T, 2006, *Energi Konsentrasi Timbal Terhadap Sifat Fisis Paduan Gelas Timbal*, *Prosiding Seminar Instrumentasi Dan Rekayasa Hasil Penelitian Tahun 2001*, P2PBN-BATAN.
- [4]. Jaeger R.G., 1979, *Engineering Compendium on Radiation Shielding Fundamentals and Methods*, Springer, Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- [5]. Atmojo S.M., 2005, *Penentuan Daya Serap Kaca Borosilika Terhadap Radiasi Neutron Berdasar Komposisi Boron Oksida*, *Prosiding Seminar Nasional Keramik III*, P2PN-BATAN.
- [6]. Tooley F.V., 1993, *Books For Glass Industry*, *The Handbook of Glass Manufacture*, Vol I and II 3rd edition, Division Ashlee Publishing, Inc, New York.