

## DESAIN PINTU RUANG PESAWAT SINAR-X DARI BAHAN KOMPOSIT KARET ALAM TIMBAL OKSIDA

Sri Mulyono Atmojo\*  
\*Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir-BATAN

### ABSTRAK

*Telah dilakukan perancangan pintu ruang pesawat sinar-X dari bahan komposit karet alam timbal oksida. Tujuan dari desain ini untuk menguasai teknologi dan memperoleh optimasi proses pembuatannya. Perancangan meliputi penentuan nilai daya serap perisai yang didasarkan pada komposisi dan ketebalan daun pintu perisai radiasi sinar-X memakai energi 100 keV. Hasil perhitungan diperoleh nilai daun pintu perisai radiasi sinar-X dengan tebal 2mm dapat diganti dengan komposit karet alam timbal oksida komposisi antara 75phr (part per one hundred rubber) sampai 150phr, dengan ketebalan antara 3,4cm sampai 1,85cm Untuk daun pintu dengan tebal 3mm, dapat diganti dengan komposit komposisi antara 100phr sampai 175phr dengan ketebalan antara 3,40cm sampai 2,44cm.*

*Kata kunci : sinar-X, perisai radiasi*

### ABSTRACT

*The door leaf design for X-rays room from the composite material of natural rubber lead oxide has been carried out. The purpose of this design is to mastery in manufacture technology and to gain optimization of fabrication proses of the composite. The design include the absorption strength which is based on the composition of lead oxide in the composite and thickness of the door leaf for X-ray by using 100keV energy. Result of this calculation show that X-ray door leaf in 2 mm thickness can be change by the composite natural rubber lead oxide in the range 75 – 150 part per one hundred rubber composition and 3,4 – 1,85 cm thickness. The door leaf which is has 3mm thickness can be changed by the composite having 100 – 175 part per one hundred rubber composition and 3,40 – 2,5 cm thickness.*

*Key words : X-ray, radiation shields*

### 1. PENDAHULUAN

Pada pemanfaatan radiasi sinar-X, selalu diperlukan suatu perlengkapan perisai yang mampu mengurangi paparan radiasi sedemikian sehingga operator, pasien, dan lingkungan terhindar dari paparan radiasi yang berlebihan, sehingga pemanfaatan sinar-X atau sejenis aman digunakan. Dalam suatu ruangan yang digunakan untuk peng-operasian pesawat sinar-X di bidang kesehatan di rumah sakit, dinding ruangan dibuat sedemikian rupa, sehingga mampu menahan radiasi sinar-X. Syarat yang harus dipenuhi agar kondisi lingkungan diluar ruangan menjadi aman bagi orang lain, ditetapkan sebesar 0,25 mRem/jam<sup>[1]</sup>. Selain dinding, daun pintu yang digunakan juga harus mampu menahan radiasi sinar-X seperti halnya dinding ruangan tersebut. Daun pintu biasanya dibuat dari pelat timbal

tebal 2-3 mm, yang ditempelkan pada suatu kerangka<sup>[1]</sup>. Pelat timbal ini bisa diganti dengan lembaran komposit karet alam timbal oksida. Dalam rangka meningkatkan pemanfaatan sumber daya alam yang terbarukan yang dimiliki Indonesia, seharusnya Indonesia dapat memanfaatkan kesempatan untuk membuat daun pintu ini, karena Indonesia merupakan penghasil karet alam dunia, sehingga secara tidak langsung sumber daya alam berupa karet dapat ditingkatkan nilai jualnya. Karet alam berfungsi sebagai matrik komposit, sedangkan timbal oksida berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*) dan sebagai bahan yang cukup baik menyerap radiasi sinar-X dan gamma. Beberapa hal penting yang merupakan dasar dalam melakukan perancangan perisai radiasi, antara lain: komposisi timbal oksida di

dalam komposit, dan ketebalan bahan perisai. Secara umum, semakin tinggi komposisi timbal oksida, maka komposit akan semakin baik sebagai perisai radiasi sinar-X atau gamma, tetapi jika bahan pengisi terlalu besar, maka fungsi matrik bisa berubah. Oleh karena itu, harus dicari optimasi yang tepat antara besarnya komposisi, ketebalan, dan yang memenuhi persyaratan sebagai daun pintu.

Proses pembuatan komposit dapat dilakukan dengan metoda konvensional, yaitu karet alam fase padat dan serbuk timbal oksida dicampur dengan cara *blending*. Karet alam fase padat digiling, kemudian serbuk bahan pengolah dan timbal oksida dimasukkan ke dalam karet. Selanjutnya dibuat lembaran dan divulkanisasi dengan belerang. Secara umum, pembuatan komposit karet alam timbal oksida sudah dikuasai oleh pa-brikan di dalam negeri, sehingga jika diproduksi, pabrikan sudah familier dengan proses pembuatannya. Pengujian daya serap terhadap radiasi sinar-X dilakukan dengan energi sinar-X sebesar 100 keV, sehingga semua perhitungan dalam perancangan yang terkait dengan daya serap dilakukan dengan tegangan operasi sinar-X setinggi 100 kV.

Berikut disampaikan disain pintu perisai radiasi sinar-X tersebut.

## 2. TEORI DAN METODA PERHITUNGAN

Proses pengurangan paparan radiasi tidak lain adalah adanya interaksi radiasi sinar-X atau gamma dengan materi, dan menyebabkan tidak semua radiasi yang datang pada daun pintu dapat lolos keluar daun pintu. Hal ini disebabkan karena energinya diserap oleh elektron atom orbital bahan daun pintu. Jika energi yang diserap cukup besar, maka elektron dapat terlepas dari lintasannya dan menjadi elektron bebas, atau digunakan untuk naik ketingkat tereksitasi bila energi yang diserap tidak terlalu tinggi<sup>[2]</sup>. Kemampuan penyerapan energi dapat dinyatakan dengan daya serap bahan terhadap radiasi sinar-X, yang setara

dengan daya serap pelat timbal tebal tertentu terhadap radiasi yang sama. dan tergantung pada koefisien serapan linier bahan. Komposit yang terdiri dari karet alam dan timbal oksida, yang masing-masing mempunyai rumus kimia  $C_{10}H_{16}$  dan  $Pb_3O_4$ , maka kemampuan penyerapannya tergantung pada koefisien serapan linier unsur C, H, Pb, dan O. <sup>[3,4]</sup> Untuk menentukan koefisien serapan linier karet alam  $C_{10}H_{16}$  atau timbal oksida  $Pb_3O_4$ , digunakan Persamaan 1<sup>[5]</sup>.

$$(\mu/\rho)_{\text{senyawa}} = \sum w_i (\mu/\rho)_i \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$\mu$  = koefisien serapan linier unsur,  $cm^{-1}$

$\rho$  = massa jenis unsur,  $gram/cm^3$

w = fraksi berat molekul unsur dalam senyawa

Tabel 1 merupakan tabel koefisien serapan massa unsur pembentuk komposit untuk energi sinar-X 100 keV dan 150 keV. Berdasar pada tabel tersebut dapat ditentukan nilai koefisien serapan linier komposit.

**Tabel 1a.** Koefisien serapan massa  $\mu/\rho$ , dan massajenis  $\rho$  <sup>[6]</sup>

| Nama unsur | $\mu/\rho$ , $cm^2/gram$ |       | $\rho$ , $gr/cm^3$ |
|------------|--------------------------|-------|--------------------|
|            | E, keV                   |       |                    |
|            | 100                      | 150   |                    |
| H          | 0,294                    | 0,265 | 0,00008988         |
| O          | 0,152                    | 0,134 | 0,001429           |
| C          | 0,149                    | 0,134 | 2,25               |
| Pb         | 5,62                     | 1,990 | 11,34              |

**Tabel 1b.** Koefisien serapan linier  $\mu$  <sup>[6]</sup>

| Nama unsur | $\mu/\rho$ , $cm^2/gram$ |            |
|------------|--------------------------|------------|
|            | E= 100keV                | E= 150 keV |
| H          | 0,000026                 | 0,000024   |
| O          | 0,00022                  | 0,00019    |
| C          | 0,3353                   | 0,3015     |
| Pb         | 63,7308                  | 22,5667    |

Berdasar pada Tabel 1a, dan 1b, serta Persamaan 1, dapat dihitung koefisien serapan linier karet alam dengan cara sebagai berikut: Berat atom H=1, C=12, maka berat molekul karet alam adalah =  $10 \times 12 + 16 \times 1 = 136$  gram mol

$$(\mu/\rho)_{\text{karet alam}} = \frac{10 \times 12}{136} \times 0,149 + \frac{16 \times 1}{136} \times 0,294$$

$$= 0,1661 \text{ cm}^2/\text{gram}$$

Dengan cara yang sama dapat ditentukan pula koefisien serapan massa ( $\mu/\rho$ ) sebesar  $5,1091 \text{ cm}^{-1}$ . Untuk menghitung ( $\mu/\rho$ ) komposit dapat digunakan Persamaan 1, tetapi dengan fraksi berat  $w$  yang digunakan adalah fraksi berat masing-masing senyawa di dalam komposit. Sedangkan massa jenis yang digunakan untuk menghitung  $\mu$  adalah massa jenis karet alam dan timbal oksida, dimana masing-masing massa jenis mempunyai nilai  $0,90 \text{ gram/cm}^3$  dan  $9,34 \text{ gram/cm}^3$ . Sebagai contoh untuk komposit dengan komposisi 100 phr (*part per one hundred rubber*) nilai  $\mu$  dan  $\rho$  dapat ditentukan sebagai berikut :

$$(\mu/\rho)_{\text{ko 100}} = \frac{100}{200} \times 5,1091 + \frac{100}{200} \times 0,1608$$

$$= (2,5546 + 0,0804)$$

$$= 2,6350 \text{ cm}^2/\text{gram}$$

Karena campuran karet alam dan timbal oksida merupakan komposit, maka masing-masing sifat fisis yaitu berat dan volume masih tetap. Oleh karena itu, perhitungan massa jenis dapat dilakukan sebagai berikut.

Berat masing-masing campuran adalah 100 gram, jadi berat total = 200 gram.

$$\text{Volume karet alam} = 100 : 0,90$$

$$= 108,69 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume timbal oksida} = 100 : 9,34 = 0,71 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume total} = V_{\text{karet alam}} + V_{\text{Pb3O4}}$$

$$= 108,69 + 10,71$$

$$= 119,4 \text{ cm}^3$$

$$\text{Massa jenis komposit komposisi 100 phr}$$

$$= 200 : 119,4$$

$$= 1,6751 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Jadi } \mu \text{ komposit komposisi 100 phr}$$

$$= 2,6350 \times 1,6751$$

$$= 4,4139 \text{ cm}^{-1}$$

Jika tebal komposit ditetapkan, maka daya serap komposit untuk setiap komposisi dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2<sup>[2]</sup>.

$$\text{Daya serap (DS)} = \left( 1 - e^{-\mu x} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

dengan :  $\mu$  = koefisien serapan linier bahan,  $\text{cm}^{-1}$   
 $x$  = tebal bahan, cm

Pada bab sebelumnya telah dinyatakan bahwa untuk keperluan ruang radiografi/radiologi, daun pintu harus diberi pelat timbal tebal 2-3 mm agar paparan radiasi sinar-X tidak membahayakan lingkungan. Berdasar pada besarnya nilai koefisien serapan massa timbal pada tegangan operasi tabung pesawat sinar-X 100kV, maka daya serap pelat timbal dapat dihitung.

$$\text{Daya serap} = \left( 1 - e^{-5,62 \times 11,34 \times 0,2} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

$$= \left( 1 - e^{-12,75} \right) \times 100\%$$

Daya serap daun pintu yang terbuat dari komposit harus sama dengan daya serap daun pintu yang dibuat dari pelat timbal tebal 2-3mm tersebut. Dengan demikian pangkat eksponen pada Persamaan 3, akan sama dengan pangkat eksponen untuk perhitungan ketebalan dan komposisi komposit.

Dari hasil perhitungan tebal dan komposisi komposit, maka dapat ditetapkan komposisi komposit yang memenuhi persyaratan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menggunakan Persamaan 1 dapat diperoleh massa jenis dan koefisien serapan linier komposit seperti pada Tabel 2. Jika satu daun pintu itu diberi pelat timbal tebal 2mm atau 3 mm, area diluar ruangan pesawat sinar-X aman untuk orang awam, maka dari persamaan 2 dan persamaan 3 dapat diturunkan ekuivalensi daya serap komposit komposisi tertentu dan tebal tertentu, dengan daya serap pelat timbal tebal 2mm atau 3mm.

Daya serap pelat timbal 2mm =

$$(1 - e^{-5,62 \times 11,34 \times 0,2}) \times 100\%$$

Daya serap komposit komposisi dan tebal tertentu =

$$(1 - e^{-\mu x}) \times 100\%$$

Dari dua persamaan diatas akan diperoleh turunan persamaan seperti pada persamaan 4.

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

$$(1 - e^{-5,62 \times 11,34 \times 0,2}) \times 100\%$$

Sehingga :

$$\mu x = 5.62 \times 11,34 \times 0,2 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan menggunakan persamaan 4, dapat dihitung komposit dengan komposisi tertentu dan tebal tertentu yang memenuhi kriteria. Hasil perhitungan selengkapnya seperti dalam Tabel 3. Dari tabel tersebut terlihat bahwa bila daun pintu ruang operasi pesawat sinar-X cukup dengan tebal 2mm, maka daun pintu tersebut dapat diganti dengan komposit komposisi 75phr, 100phr, 125phr, 150phr, masing-masing dengan ketebalan sekitar 3,40cm, 2,63cm, 2,17cm, dan 1,85cm. Sedangkan bila daun pintu aman dengan tebal 3mm, maka daun pintu tersebut dapat diganti dengan komposit komposisi 100 phr, 125phr, 150phr, 175phr, dengan masing-masing ketebalan sekitar 3,40cm, 3,25cm, 2,78cm, 2,44cm.

**Tabel 2.** Hasil perhitungan massa jenis dan koefisien serapan linier komposit

| Komposisi komposit, phr | Massa jenis, gram/cm <sup>3</sup> | Koef.serapan linier, cm <sup>-1</sup> |
|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 50                      | 1,3153                            | 2,6050                                |
| 75                      | 1,5000                            | 3,7508                                |
| 100                     | 1,6750                            | 4,8414                                |
| 125                     | 1,8432                            | 5,8867                                |
| 150                     | 2,0040                            | 6,8864                                |
| 175                     | 2,1581                            | 7,8440                                |
| 200                     | 2,3059                            | 8,7630                                |
| 225                     | 2,4335                            | 9,5886                                |

**Tabel 3.** Hasil perhitungan ketebalan dan komposisi komposit, yang dihitung ber-dasar persamaan 2 dan 3.

| Berdasar tebal pelat 2mm |           | Berdasar tebal pelat 3mm |           |
|--------------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| Komposisi, phr           | Tebal, cm | Komposisi, phr           | Tebal, cm |
| 50                       | 4,8430    | 50                       | 7,3394    |
| 75*                      | 3,3983*   | 75                       | 5,0974    |
| 100                      | 2,6327    | 100*                     | 3,9491*   |
| 125                      | 2,1652    | 125                      | 3,2479    |
| 150*                     | 1,8510*   | 150                      | 2,7764    |
| 175                      | 1,6300    | 175*                     | 2,4374*   |
| 200                      | 1,4550    | 200                      | 2,1818    |
| 225                      | 1,3293    | 225                      | 1,9940    |

\* komposisi komposit yang direkomendasikan untuk digunakan

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa daun pintu ruang operasi pesawat sinar-X dengan tebal 2mm, dapat diganti dengan komposit karet alam timbal oksida komposisi antara 75 phr sampai 150 phr, ketebalan antara 3,40 cm sampai 1,85 cm. Sedangkan bila daun pintu dilapisi dengan pelat timbal tebal 3 mm, pelat tersebut dapat diganti dengan komposit karet alam timbal oksida komposisi 100 phr sampai 175 phr, ketebalan antara 3,40 cm sampai 2,44 cm.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] M, A. COWD, *Kimia Polimer*, Penerbit ITB, Bandung, 1991
- [2.] MARTHA WINDHOLZ, *An Encyclopedia of Chemicals, Drug, AND Biologicals*, The Merck Index, Merck & Co. New York, USA, 1963
- [3.] R.G.JAEGER DKK, *Engineering Compendium on Radiatin Shielding, Volume 1, Shielding Fundamentals and Methods*, Springer,Verlag, Berlin Heidelberg, New York, 1979
- [4.] SRI MULYONO ATMOJO, *Rekayasa Celemek Perisai Radiasi Sinar-X Berbasis Komposit Karet Alam Timbal Oksida*, *Presentasi Ilmiah Peneliti Utama PRPN*, Jakarta, 2008
- [5.] SK KA BAPETEN: Nomor 08/KA/BAPETEN/V-99, *Ketentuan Keselamatan Radiografi Industri*, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 1999
- [6.] WISNU ARYA WARDHANA, *TEKNOLOGI NUKLIR, Proteksi Radiasi Dan Aplikasinya*, Penerbit Andi, YOGYAKARTA, 2007