

Kajian Bahan Kaca *Boro-tellurite* untuk *Shielding* Radiasi Gamma Pada Kedokteran Nuklir Pengganti Bahan Konvensional

Tina Sasmi¹, Indra Wijaya¹, Dewi Ratnasari¹,
Ahmad Marzuki¹

¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret

Corresponding author: tina.sasmi17@student.uns.ac.id

Abstrak. Pemanfaatan teknologi nuklir telah menjangkau berbagai bidang kehidupan. Salah satu aplikasi teknologi nuklir yang sangat dekat dengan manusia adalah kedokteran nuklir. Sinar gamma merupakan radiasi pengion yang energinya mampu merusak sel-sel hidup, memperlambat dan memindahkan energi ke sel-sel yang dilaluinya sehingga dibutuhkan bahan pelindung radiasi gamma. Bahan pelindung dengan kepadatan tinggi seperti timbal, beton, dan besi memberikan perlindungan yang efektif terhadap radiasi gamma. Studi review ini menunjukkan bahwa adanya kebutuhan mendesak pada aplikasi radiasi gamma berbagai bidang yang membutuhkan bahan pelindung radiasi gamma transparan. Kaca merupakan bahan alternatif pengganti bahan pelindung radiasi konvensional yang sering digunakan. Kaca dengan bahan *boro-tellurite* ternyata memiliki densitas yang tinggi berkisar antara 3,172 sampai 6,64 g/cm³ serta nilai HVL sebesar 1,0 sampai 2,988 cm, dan MFP sebesar 1,456 sampai 4,311 cm pada pengujian karakteristik bahan pelindung radiasi gamma dengan energi 662 keV. Pembentukan kaca boro-tellurite menggunakan metode melt-quenching. Borotellurite merupakan bahan dasar kaca yang karakteristik sebagai pelindung radiasi gamma dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan Heavy Metal Oxyde (HMO) seperti TeO₂, WO₃, Bi₂O₃, PbO, TiO₂, dan Ag₂O. Saat ini, sebagian besar penelitian berfokus pada pelindung radiasi yang transparan, praktis, dan relatif murah dalam segi biaya.

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi nuklir diimbangi dengan banyaknya aplikasi dalam berbagai bidang kehidupan. Salah satu aplikasi teknologi nuklir yang sangat dekat dengan manusia adalah kedokteran nuklir. Kedokteran nuklir biasanya memanfaatkan sumber radioaktif yang memancarkan radiasi gamma dan juga untuk diagnosis dan pengobatan berbagai penyakit. Peningkatan penggunaan isotop radioaktif menjadi alasan untuk mempelajari berbagai parameter yang terkait dengan perjalanan radiasi gamma jika melewati suatu bahan. Sinar gamma merupakan radiasi pengion yang energinya mampu merusak, memperlambat dan memindahkan energi ke sel-sel sehingga berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan apabila terpapar terus-menerus, maka dibutuhkan bahan pelindung radiasi gamma. Bahan pelindung radiasi gamma telah mengalami kemajuan pesat, yang paling umum digunakan adalah timbal, baja, dan beton. Namun, saat ini bahan pelindung radiasi gamma yang dibutuhkan dalam aplikasi berbagai bidang adalah yang tembus terhadap cahaya tampak. Hal ini menyebabkan para ilmuwan material dan fisikawan nuklir mencari material alternatif sebagai pelindung [1].

Beberapa tahun terakhir, para ilmuwan melakukan penelitian mengenai bahan pelindung radiasi gamma yang tembus terhadap cahaya tampak sebagai alternatif pengganti bahan pelindung radiasi gamma konvensional. Material dengan nomor atom tinggi dan kepadatan tinggi cocok digunakan untuk bahan perisai radiasi. Bahan alternatif yang memiliki sifat sebagai pelindung radiasi gamma adalah kaca, kaca merupakan bahan yang padat dan transparan dengan sifat sebagai penyerapan radiasi yang ringan maupun tinggi [2].

Kaca dengan bahan dasar telurium oksida (TeO₂) saat ini merupakan teknologi kaca yang berpotensi digunakan di bidang optik karena memiliki sifat titik leleh rendah, stabilitas termal dan



kimia yang baik, laju kristalisasi lambat, energi fonon rendah dan indeks bias yang tinggi. Bahan TeO_2 murni tidak dapat membentuk kaca sehingga memerlukan penambahan berbagai oksida untuk meningkatkan kemampuan membentuk kaca. Ketika dilakukan penambahan borat pada bahan dasar tellurite maka akan terbentuk kaca boro-telurit. Boron oksida (B_2O_3) adalah pembentuk kaca dasar karena ikatan kimia yang lebih panjang, ukuran kation yang rendah, kalor fusi kecil, dan sifat tri valensi yang dimiliki boron. Adanya B_2O_3 dan TeO_2 pada kaca boro-telurit menyebabkan spesifikasi yang kompleks dalam struktur kaca sehingga *Heavy Metal Oxide* (HMO) seperti Bi_2O_3 dapat ditambahkan ke kaca untuk meningkatkan kepadatan, sifat struktural, dan optiknya. Bi_2O_3 merupakan bahan yang tidak berbahaya dan non-karsinogenik. Kaca yang mengandung *Heavy Metal Oxide* (HMO) seperti Bi_2O_3 , WO_3 atau BaO dianggap sebagai bahan pelindung radiasi gamma yang sebanding bahan pelindung dan sifat penghentian elektron yang lebih baik dari bahan pelindung konvensional [3].

Karakteristik Kaca Sebagai Shielding Radiasi Gamma. Dalam upaya mengetahui kualitas bahan pelindung radiasi gamma selama proses perjalanan sinar gamma perlu memperhatikan beberapa parameter sebagai bahan pelindung radiasi gamma. Karakteristik kaca sebagai pelindung radiasi gamma diantaranya adalah koefisien attenuasi, *Half Value Layer* (HVL), *Mean Free Path* (MFP). Koefisien attenuasi merupakan berkurangnya jumlah intensitas radiasi setelah melewati suatu bahan. Sedangkan, koefisien attenuasi massa (μ/ρ , dalam cm^2/g) merupakan peluang yang digunakan untuk mengetahui peluang interaksi dari foton dengan bahan selama proses perjalanan sinar gamma. Ketika radiasi gamma melewati bahan pelindung, maka terjadi pelemahan intensitas sinar gamma yang mengikuti aturan hukum Lambert-Beer sebagai berikut :

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1)$$

Koefisien attenuasi massa merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung parameter-parameter selanjutnya, yaitu nilai HVL dibutuhkan untuk mengurangi intensitas sinar gamma hingga setengah (50%) nilai awalnya, maka nilai HVL dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} \quad (2)$$

Selain HVL koefisien attenuasi massa juga digunakan untuk menentukan MFP. *Mean Free Path* (MFP) merupakan jarak rata-rata yang ditempuh oleh foton (sinar gamma) dalam medium sebelum terjadi interaksi dalam bahan pelindung radiasi. MFP pada sampel bahan pelindung menunjukkan kekuatan penyerapan sinar gamma. MFP dapat diketahui menggunakan persamaan berikut [4]:

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

2. METODE PEMBUATAN KACA PELINDUNG RADIASI

Pada pembuatan kaca pelindung radiasi gamma menggunakan metode *melt quenching*. Metode *melt quenching* adalah salah satu metode yang paling sering digunakan dalam proses pembentukan kaca. Prinsip dasar metode *melt quenching* terdapat pada reaksi fusi antara bahan beku kristal yang menjadi kental diikuti dengan pembentukan dan pendinginan secara cepat menjadi kaca. Bahan baku dalam berbentuk kristal dicampurkan dengan perbandingan tertentu serta dihaluskan dengan menggunakan cawan petri dan mortar selama kurang lebih 30 menit. Proses dilanjutkan dengan memasukkan bahan ke dalam krusibel kemudian dipanaskan dengan suhu tinggi menggunakan *furnice* agar terjadi reaksi fusi. Pemanasan dengan menggunakan *furnice* menggunakan suhu sekitar 900°C dengan waktu 30 menit [23]. Metode *melt quenching* memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam menghasilkan kaca dengan bahan tellurite, zinc, natrium dan bismuth. Kelebihan dari metode *melt quenching* adalah memiliki fleksibilitas yang besar untuk berbagai macam komposisi pembentuk kaca, pendinginan lelehan tidak membutuhkan stokiometri dari unsur-unsurnya. Sedangkan kekurangan penggunaan metode ini Penggunaan material berupa bubuk menyebabkan sebelum pelelehan harus dihaluskan sehingga sulit menghasilkan kemurnian yang tinggi [5,6].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Bahan Pelindung Radiasi Konvensional

Sebelum adanya pengembangan teknologi pelindung radiasi gamma dari bahan kaca, telah ada beberapa bahan yang sudah lama digunakan sebagai pelindung radiasi diantaranya beton, ubin, batu bata, timbal, serta lapisan-lapisan murni dengan bahan aluminium (Al), besi(Fe) dan tembaga (Cu). Bahan tersebut digunakan sejak lama karena mudah dibentuk serta harganya murah. Misalnya timbal memiliki kepadatan dan nomor atom yang tinggi, yaitu 82. Namun, timbal mempunyai sifat racun yang tinggi sehingga harus dilapisi dengan cat atau dicampur dengan beton. Penelitian lebih lanjut mengenai campuran timbal dengan beton menunjukkan kemampuan penyerapan terhadap radiasi gamma yang lemah sehingga digunakan panduan logam sebagai bahan pelindung radiasi gamma.

Tabel 1. Ringkasan bahan material yang digunakan dalam aplikasi Pelindung radiasi gamma (2008-2020)

Bahan Pelindung	Berat Jenis (gr/cm ³)	Kelebihan	Kekurangan	Peneliti
Timbal	11,34	Memiliki tingkat kepadatan yang tinggi dan mudah dibuat dengan biaya yang relatif rendah	Memiliki sifat racun yang tinggi, memiliki bobot yang tinggi, tidak tembus cahaya tampak	[7,8,9]
Beton Normal	2,35	Bentuknya dapat disesuaikan kebutuhan, biaya pembuatannya relatif murah dan mudah ditemukan, perawatan beton juga mudah karena beton kuat dan tahan api, memiliki ketahanan terhadap air yang baik	Cepat panas ketika terjadi proses penyerapan energi radiasi serta tidak dapat ditembus oleh cahaya tampak	[10]
Besi	6,5-7,5	Bahan mudah didapatkan, kemudahan fabrikasi, bentuknya dapat disesuaikan kebutuhan, biaya relatif murah.	Dapat teroksidasi dalam udara normal dan tidak tembus cahaya tampak	[11,12]

3.2. Pengembangan Bahan Pelindung Radiasi Gamma Tembus Cahaya Tampak

Dalam publikasi yang dilakukan Bootjomchai *et al.* (2012) menyebutkan prinsip bahan pelindung radiasi gamma adalah bahan yang memiliki ketebalan yang cukup untuk menyerap radiasi datang sampai ke tingkat yang aman. Bahan kaca adalah salah satu alternatif yang dapat menjadi pengganti beton untuk pelindung radiasi [13].

Tabel 2. Ringkasan bahan dasar kaca yang digunakan sebagai pelindung radiasi gamma

Bahan Dasar Kaca	Karakteristik kaca	Peneliti
Kaca Tellurite	Suhu leleh rendah, energi fonon relatif rendah, indeks bias tinggi 1,8-2,3, serta stabilitas yang baik, densitas tinggi mencapai 5,5 g/cm ³ , serta sifat optik non linier sebesar 2,5 x 10 ⁻¹⁵ m ² /W.	[14,2]
Kaca Silika	Stabilitas kimia yang baik, jendela optik lebar antara sinar ultraviolet dan inframerah, dan kekuatan mekanik yang sangat baik, indeks bias sebesar 1,46, densitas tinggi yaitu 5,0 g/cm ³ , serta sifat optik non linier yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kaca tellurite yaitu sebesar 10 ⁻¹⁷ m ² /W.	[2]

4. KESIMPULAN

Keefektifan bahan pelindung radiasi gamma bergantung pada energi radiasi, jenis, dan ketebalan bahan pelindung. Pada prinsipnya bahan pelindung dengan kepadatan tinggi seperti timbal, beton, dan besi memberikan perlindungan yang efektif terhadap radiasi gamma. Studi review ini menunjukkan bahwa adanya kebutuhan mendesak pada aplikasi radiasi gamma berbagai bidang yang membutuhkan bahan pelindung radiasi gamma transparan. Kaca merupakan bahan alternatif pengganti bahan pelindung radiasi konvensional yang sering digunakan. Kaca dengan bahan *boro-tellurite* ternyata memiliki densitas yang tinggi berkisar antara 3,172 sampai 6,64 g/cm³ serta nilai HVL sebesar 1,0 sampai 2,988 cm, dan MFP sebesar 1,456 sampai 4,311 cm pada pengujian karakteristik bahan pelindung radiasi gamma dengan energi 662 keV. Pembentukan kaca boro-tellurite menggunakan metode *melt-quenching* yang merupakan metode yang dapat digunakan untuk membuat kaca dengan komposisi apapun. Borotellurite merupakan bahan dasar kaca yang karakteristik sebagai pelindung radiasi gamma dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan Heavy Metal Oxyde (HMO) seperti TeO₂, WO₃, Bi₂O₃, PbO, TiO₂, dan Ag₂O. Saat ini, sebagian besar penelitian berfokus pada pelindung radiasi yang transparan. Bahan kaca boro-tellurite merupakan salah satu solusi yang dapat menjadi bahan pelindung radiasi gamma dalam kedokteran nuklir berdasarkan keefektifan biaya, kepraktisan dan sifat fisiknya.

5. REFERENSI

- [1]Kurudirek, M., Özdemir, Y., Şimşek, Ö. and Durak, R., 2010. Comparison of some lead and non-lead based glass systems, standard shielding concretes and commercial window glasses in terms of shielding parameters in the energy region of 1 keV–100 GeV: a comparative study. *Journal of nuclear materials*, 407(2), pp.110-115.
- [2]Wang, J.S., Vogel, E.M. and Snitzer, E., 1994. Tellurite glass: a new candidate for fiber devices. *Optical materials*, 3(3), pp.187-203.
- [3]Saddeek, Y.B., Aly, K.A., Shaaban, K.S., Ali, A.M., Alqhtani, M.M., Alshehri, A.M., Sayed, M.A. and Wahab, E.A., 2018. Physical properties of B₂O₃–TeO₂–Bi₂O₃ glass system. *Journal of Non-crystalline Solids*, 498, pp.82-88.
- [4]Halimah, M.K., Azuraida, A., Ishak, M. and Hasnimulyati, L., 2019. Influence of bismuth oxide on gamma radiation shielding properties of boro-tellurite glass. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 512, pp.140-147.
- [5]Yamane, M. and Asahara, Y., 2000. *Glasses for photonics*. Cambridge University Press.
- [6]Shelby, J.E., 2005. *Introduction to glass science and technology*, -The Royal Society of Chemistry. Cambridge CB4 0WF, UK.
- [7]Tangio, J.S., 2013. Adsorpsi logam timbal (Pb) dengan menggunakan biomassa enceng gondok (*Eichhorniacrassipes*). *Jurnal Entropi*, 8(01).
- [8]Al-Hadeethi, Y., Sayyed, M.I. and Tijani, S.A., 2019. Gamma radiation attenuation properties of tellurite glasses: A comparative study. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(8), pp.2005-2012.
- [9]AbuAlRoos, N.J., Amin, N.A.B. and Zainon, R., 2019. Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review. *Radiation Physics and Chemistry*, 165, p.108439.
- [10]Tyagi, G., Singhal, A., Routroy, S., Bhunia, D. and Lahoti, M., 2020. A review on sustainable utilization of industrial wastes in radiation shielding concrete. *Materials Today: Proceedings*.
- [11]Setiyawan, I., Sutanto, H. and Firdausi, K.S., 2015. Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan Pada Besi, Tembaga dan Stainless Steel Sebagai Bahan Perisai Radiasi. *Youngster Physics Journal*, 4(2), pp.219-224.
- [12]Haryati, E. and Dahlan, K., 2015, October. Analisis Karakterisasi Beton Berat Menggunakan Pasir Besi Sebagai Perisai Radiasi Nuklir. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 4, pp. SNF2015-VII).

