

SIMULASI MATERIAL BIOPLASTIK DENGAN PENGISI BaTiO₃ SEBAGAI BAHAN APRON PROTEKSI RADIASI DENGAN PHITS 3.30

Dwi Satya Palupi*, Lady Angelina

Universitas Gadjah Mada

*Corresponding author: dwi_sp@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kemungkinan material bioplastik nanokomposit berupa karboksimetil selulosa (CMC)/asam malat (AM) dengan bahan pengisi (filler) zeolit dan barium titanat (BaTiO₃) digunakan sebagai bahan apron yang efektif untuk proteksi radiasi gelombang elektromagnetik (REM). Metode yang digunakan adalah simulasi komputasi menggunakan program PHITS 3.30. Pada simulasi, radiasi diasumsikan berupa foton dari pesawat sinar-X dengan energi 30 keV. Foton ditembakkan pada target material bioplastik kemudian dicari ketebalan target yang dapat ditembus oleh sinar-X. Ketebalan tersebut menunjukkan daya tembus radiasi. Material utama yang disimulasikan adalah bioplastik dengan bahan CMC (karboksimetil selulosa) dan AM (asam malat), yang diisi dengan Ba yang berasal dari BaTiO₃. Sebagai pembanding disimulasikan juga material CMC/AM dan Ba. Diperoleh hasil, ketebalan material BaTiO₃ (dengan rapat jenis 6,0200 g/cm³) yang dapat ditembus oleh sinar-X adalah 0,27 cm, sedang ketebalan CMC/AM/BaTiO₃ dengan rapat jenis 3,8125 g/cm³ dan 1,3382 g/cm³ yang dapat ditembus masing-masing adalah 1,1 cm dan 2,9 cm. Dapat disimpulkan ketika material yang digunakan hanya BaTiO₃ daya tembus sina-X lebih pendek dibandingkan ketika material diisi pada material bioplastik, hal terjadi karena BaTiO₃ sebagai filler tidak dapat masuk sepenuhnya ke dalam matriks bioplastik. Dapat disimpulkan juga bahwa semakin besar nilai rapat jenis material tersebut maka material akan lebih efektif dalam menyerap radiasi foton.

Kata kunci: apron, bioplastik, daya tembus, PHITS, proteksi radiasi.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dengan memanfaatkan radiasi pengion di berbagai bidang sudah sangat meluas, baik dalam penelitian, industri dan kesehatan. Radiasi memiliki banyak manfaat namun juga dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia sehingga pekerja radiasi perlu dilindungi dari bahaya radiasi (Bapeten, 2011; Bapeten, 2013). Salah satu cara untuk melindungi pekerja radiasi dari paparan radiasi berlebih adalah dengan menggunakan apron (Hiswara, 2023; Martem *et al.*, 2015). Saat ini apron yang digunakan umumnya berbahan timbal (Pb) (Martin, 2012). Namun, timbal merupakan atom berat dan mempunyai densitas yang tinggi sehingga pelindung radiasi yang terbuat dari timbal akan menjadi berat dengan demikian kurang fleksibel dan kurang nyaman dipakai (Budiawan *et al.*, 2019). Kebutuhan bahan apron ini mendorong penelitian untuk

menemukan bahan alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan apron yang nyaman dan ramah lingkungan tanpa meninggalkan fungsi proteksinya.

Salah satu material yang dapat digunakan untuk apron adalah material bioplastik. Penggunaan material bioplastik dalam pembuatan apron memiliki potensi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan juga meningkatkan kenyamanan pengguna. Salah satu bahan pembuatan bioplastik yang memiliki sifat ringan dan fleksibel adalah karboksimetil selulosa (CMC) yang jika ditambahkan bahan pengisi yang mampu menyerap radiasi sinar-X dan gamma maka CMC dapat dimanfaatkan untuk penahan radiasi (Pettignano *et al.*, 2019). Beberapa bahan pengisi yang dapat dipertimbangkan untuk membuat komposit penahan radiasi yang efektif adalah bahan yang memiliki nomor atom dan densitas yang tinggi, mineral magnetik dan perovskit (Sholihah *et al.*, 2023; Slimani *et al.*, 2021)

Bahan penahan radiasi sinar-X yang terbuat dari campuran *fly ash* dan magnetik (Fe_2O_3), yang lebih ringan, murah serta dapat menunjang lingkungan memiliki kemampuan menyerap radiasi sinar-X berenergi rendah yang baik dengan ketebalan 2 cm (Budiawan *et al.*, 2019). Komposit nanopolimer yaitu campuran polimer karboksimetil selulosa (CMC) – polivinil pirolidon (PVP) - PbO_2 memiliki koefisien attenuasi yang sangat, ringan dan elastis, serta sifat mekanik, optik dan dielektrik yang baik untuk radiasi gamma (Hashim *et al.*, 2019). Selain itu, Film PPA yang mengandung nanopartikel BaTiO_3 mempunyai sifat penahan, karena koefisien atenuasi massa (μ_m) meningkat seiring dengan peningkatan kandungan BaTiO_3 (Issa *et al.*, 2021).

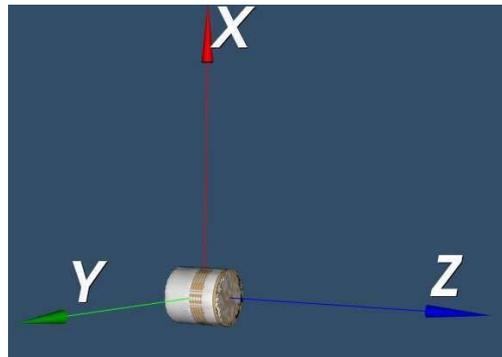
Salah satu faktor yang harus diperhitungkan untuk membuat apron yang efektif adalah kerapatan material yang digunakan, karena daya tembus radiasi pada suatu material juga ditentukan oleh kerapatannya. Oleh karena itu, perlu dilakukan simulasi untuk mencari nilai kerapatan material bioplastik yang dapat digunakan sebagai bahan apron yang efektif. Hasil simulasi akan digunakan sebagai pembanding daya tembus radiasi untuk hasil material-material yang memungkinkan dibuat sebagai apron pada berbagai kerapatan.

Penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi untuk melihat kemungkinan material bioplastik nanokomposit yaitu karboksimetil selulosa (CMC)/asam malat

(AM) dengan filler barium titanat (BaTiO_3) dapat digunakan sebagai apron untuk proteksi radiasi gelombang elektromagnetik (REM). Simulasi dilakukan dengan menggunakan program PHITS 3.30. Data hasil simulasi yang diperoleh berupa fluks, tenaga dan dosis efektif untuk radiasi foton pada apron bermaterial bioplastik pada berbagai kerapatan material bioplastik yang dapat dibuat di laboratorium kimia.

METODE

Dalam penelitian ini, simulasi komputasi dilakukan menggunakan program PHITS 3.30 dengan model geometri seperti Gambar 1. Pada pemodelan ini, target, yaitu apron, diasumsikan dalam bentuk silinder dengan diameter 500 cm yang diletakkan di pusat (0,0,0) pada koordinat kartesian. Sumber diasumsikan berupa titik yang diletakkan di pusat (0,0,0) pada koordinat kartesian dan menembakkan sinar-X dengan tenaga 30 KeV pada target.



Gambar 1. Model geometri penelitian

Target yang ditembak berupa material bioplastik dengan berbagai komposisi dan kerapatan, kemudian dicari fluks yang menembus pada tiap target. Daya tembus suatu radiasi dipengaruhi oleh energi radiasi dan kerapatan material (Krane, 1988; Turner, 2007). Dari hasil simulasi dapat diperoleh ketebalan masing-masing target yang dapat ditembus oleh sinar-X.

Material target yang dianalisa adalah material bioplastik CMC/AM/ BaTiO_3 atau material CMC/AM yang diisi dengan Ba yang dibuat dengan cara mengisikan BaTiO_3 pada CMC. Sebagai perbandingan disimulasikan juga material CMC/AM tanpa pengisi dan Ba murni.

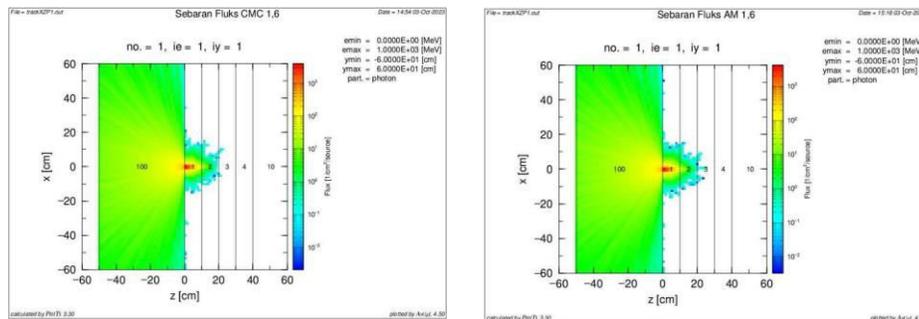
HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan yang ditembus pada berbagai jenis material target ditunjukkan oleh Tabel 1.

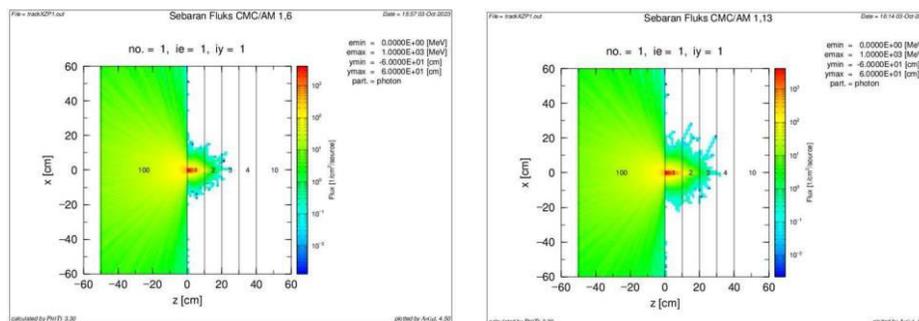
Tabel 1. Ketebalan material yang dapat ditembus

No.	Material	Kerapatan (g/cm^3)	Ketebalan (cm)	
1	CMC	1,600	23	
2	AM	1,600	25	
3	Ba	3,510	0,35	
4	BaTiO ₃	6,020	0,30	
5	CMC/AM	1,600	25	
6	CMC/AM/Ba	1,130	35	
		2,600	1,5	
7	CMC/AM/BaTiO	1,338	3,0	
		3,842	1,5	
		3	1,338	3,0

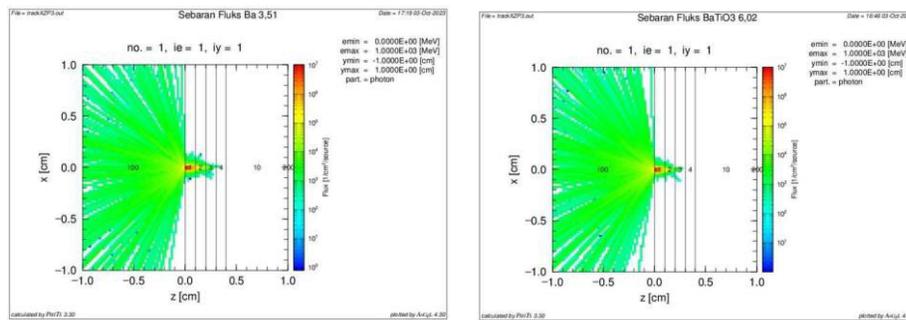
Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 2 sampai Gambar 6.



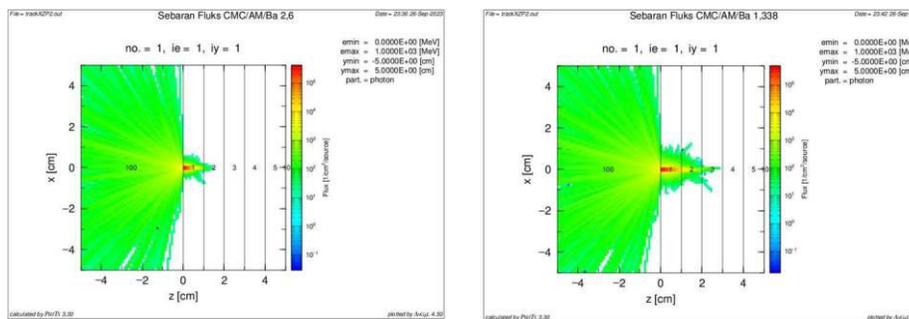
Gambar 2. Distribusi fluks pada CMC ($1,60 \text{ g/cm}^3$) dan pada AM ($1,60 \text{ g/cm}^3$).



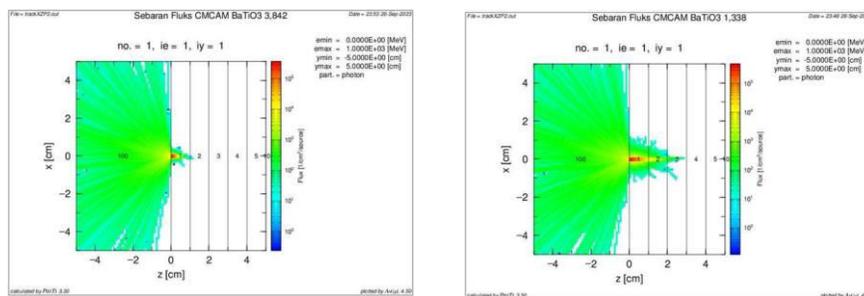
Gambar 3. Distribusi fluks pada CMC/AM dengan kerapatan $1,600 \text{ g/cm}^3$ (kiri) dan $1,130 \text{ g/cm}^3$ (kanan).



Gambar 4. Distribusi fluks pada Ba dengan kerapatan $3,51 \text{ g/cm}^3$ (kiri) dan BaTiO₃ dengan kerapatan $6,02 \text{ g/cm}^3$ (kanan).



Gambar 5. Distribusi fluks pada Ba/CMC/AM ($\rho = 2,600 \text{ g/cm}^3$) (kiri) dan Ba/CMC/AM ($\rho = 1,338 \text{ g/cm}^3$) (kanan).



Gambar 6. Distribusi fluks pada BaTiO₃/CMC/AM $\rho = 3,842 \text{ g/cm}^3$ (kiri) dan BaTiO₃/CMC/AM, $\rho = 1,3382 \text{ g/cm}^3$ (kanan).

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 dan Gambar 4 dapat dilihat daya tembus sinar-X pada material Ba baik dalam bentuk Ba murni ataupun BaTiO₃ tidak melebihi 0,35 cm. Unsur Ba baik dalam bentuk murni ataupun BaTiO₃ dengan demikian dapat menahan sinar-X. Unsur Ba murni berupa logam lunak dan tidak mudah diproduksi, sedang BaTiO₃ berbentuk serbuk, oleh karena itu Ba dan

BaTiO₃ perlu dimasukkan pada suatu matriks atau bahan agar bisa dibuat apron. Daya tembus sinar-X pada material CMC/AM tanpa bahan pengisi cukup dalam sekitar 35 cm pada kerapatan 1,130 g/cm³ (Gambar 2 dan Gambar 3). Setelah material CMC/AM diisi Ba, daya tembus sinar-X menjadi 1,5 cm jika kerapatan material 2,600 g/cm³ dan 3,0 cm jika kerapatannya 1,338 g/cm³. Tampak pada kerapatan yang lebih tinggi daya tembus sinar-X semakin pendek (Gambar 5). Pengisian Material CMC/AM dengan Ba dengan demikian mengurangi daya tembus sinar-X. Selain dalam bentuk Ba murni, Ba juga dapat diisikan dalam bentuk BaTiO₃. Bahan kimia BaTiO₃ lebih mudah dibuat dan lebih banyak terdapat di pasaran dibandingkan Ba murni. Daya tembus sinar-X pada material CMC/AM yang diisi BaTiO₃ dengan kerapatan 1,338 g/cm³ adalah 3,0 cm. Material ini telah berhasil dibuat di Laboratorium Kimia Organik FMIPA UGM. Pengisian BaTiO₃ tampak mampu mengurangi daya tembus sinar-X pada CMC/AM, dengan asumsi satu monomer CMC/AM mengikat 1 molekul BaTiO₃. Seandainya material CMC/AM/BaTiO₃ dapat dibuat dengan kerapatan yang lebih tinggi semisal 3,842 g/cm³ atau material BaTiO₃ dapat lebih banyak disisipkan ke dalam CMC/AM maka daya tembus sinar-X akan lebih rendah yaitu 1,5 cm (Gambar 6). Berdasarkan simulasi pengisian material CMC/AM dengan Ba murni lebih mengurangi daya tembus sinar-X dibandingkan pengisian dengan BaTiO₃, namun dari sisi pembuatan perlu diperhitungkan apakah Ba murni bisa lebih mudah ditemukan di pasaran dibandingkan dengan BaTiO₃ serta perlu diuji apakah bisa dimasukkan ke dalam CMC/AM dengan lebih mudah. Material yang bagus untuk perisai sinar-X adalah Pb, namun Pb yang memiliki kerapatan tinggi cukup berat sehingga tidak nyaman digunakan sebagai apron karena pemakai akan susah bergerak. Pengisian CMC/AM dengan BaTiO₃ mampu mengurangi daya tembus sinar-X dan tidak berat sehingga material tersebut dapat dipertimbangkan sebagai apron yang nyaman dari sisi beratnya.

SIMPULAN

Material Ba dan BaTiO₃ mampu menahan sinar-X. Penyisipan material Ba dan BaTiO₃ pada material CMC/AM mampu membuat daya tembus Sinar-X pada CMC/AM berkurang cukup banyak. Semakin tinggi kerapatan material atau

semakin banyak Ba atau BaTiO₃ yang dapat diisikan pada CMC/AM maka kemampuan menahan sinar-X semakin baik karena daya tembus sinar-X semakin kecil. Jika material bioplastik CMC/AM/BaTiO₃ dengan kerapatan tinggi dapat dibuat, material ini memungkinkan untuk dibuat apron terhadap sinar-X.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPETEN. 2011. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Dokumen Teknis BAPETEN. Jakarta.
- BAPETEN. 2013. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Dokumen Teknis BAPETEN. Jakarta.
- Budiawan, M. A., Suryani, S., Abdullah, B., & Tahir, D. 2019. Analysis of Absorption Properties of a Composite FlyAsh and Fe₂O₃ for X-ray Radiation Shielding Applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 593(1). 3–7.
- Hashim, A., Al-Attiyah, K.H.H., & Obaid, S.F. 2019. Fabrication of Novel (Biopolymer Blend-lead Oxide Nanoparticles) Nanocomposites: Structural and Optical Properties for Low-cost Nuclear Radiation Shielding. *Ukrainian Journal of Physics*. 64(2). 157–163. <https://doi.org/10.15407/ujpe64.2.157>
- Hiswara, E. 2023. *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. Brin.
- Issa, S. A., Zakaly, H. M. H., Pyshkina, M., Mostafa, M. Y. A., Rashad, M., & Soliman, T. S. 2021. Structure, Optical, and Radiation Shielding Properties of PVA– BaTiO₃ Nanocomposite films: An Experimental Investigation. *Radiation Physics and Chemistry*. 180. 1-13.
- Krane, K. S. 1988. *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey.
- Martem, D. R., Milvita, D., Yuliati, H., & Kusumawati, D. D. 2015. Pengukuran Dosis Radiasi Ruangan Radiologi II Rumah Sakit Gigi dan Mulut (RSGM) Baiturrahmah Padang Menggunakan Surveymeter Unfors-XI. *Jurnal Fisika Unad*. 4(4). 414–418.
- Martin, A., Harbison, S., Beach, K., dan Cole, P. 2012. *An Introduction To Radiation Protection*. Hodder Arnold.
- Pettignano, A., Charlot, A., & Fleury, E. 2019. Carboxyl-Functionalized Derivatives of Carboxymethyl Cellulose: Towards Advanced Biomedical Applications. *Polymer Reviews*. 59(3). 510-560.
- Sholihah, M., Wirawan, R., Kurniadi, D.W., Qomariyah, N., Subrotot, R., & Makmur, I.W.A. 2023. Analisis Pemanfaatan Pasir Besi dan Batu Apung

Sebagai Agregat Betton Perisai Radiasi Sinar-X. *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi dan Aplikasi Pendidikan Fisika*. 9(1). 167–173.

Slimani, Y., Hamad, M. K., Olarinoye, I. O., Alajerami, Y. S., Sayyed, M. I., Almessiere, M. A., & Mhareb, M. H. A. 2021. Determination of structural features of different Perovskite ceramics and investigation of ionizing radiation shielding properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(15), 20867–20881.

Turner, J. E. 2007. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. Weinheim.