
Studi Pengukuran Koefisien Atenuasi Material *Zincalume* Sebagai Perisai Radiasi *Gamma*

Ruly Gumilar^{1*}, Annisa Nur Fitriani¹, Tera Ummutafiqoh¹, M. Nurul Subkhi¹,
Yudha Satya Perkasa¹

¹ Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung,
Jl. AH Nasution no. 105 Bandung, Indonesia, 40614

*Ruly Gumilar. E-mail: rulygumilar@gmail.com

Telp/hp: 087760949422

ABSTRAK

Radiasi merupakan energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang dari suatu sumber radioaktif. Partikel tersebut tidak dapat terlihat secara kasat mata diantaranya partikel alfa (α), beta (β) dan gamma (γ). Sedangkan jika suatu partikel berinteraksi secara langsung dengan tubuh makhluk dapat menyebabkan terjadinya ionisasi bahkan mutasi yang akan berdampak negatif terhadap kesehatan. Sehingga dalam makalah ini akan dilakukan pengukuran koefisien atenuasi material (μ_m) zincalume sebagai perisai radiasi, material tersebut mudah ditemukan karena sudah diproduksi dan digunakan secara luas dalam bidang konstruksi. Pengukuran dilakukan dengan simulasi menggunakan program transport monte carlo MCNPX, meliputi detektor NaI(Tl) dengan terlebih dahulu diuji efisiensi absolutnya dan dibandingkan antara eksperimen dan simulasi, kemudian material perisai diinvestigasi dengan ketebalan berbeda dari 2 cm – 10 cm menggunakan sumber radioaktif ^{60}Co . Hasil pengukuran menunjukkan koefisien atenuasi meningkat dengan bertambahnya ketebalan perisai, intensitas radiasi dapat berkurang hingga 95.58% dengan ketebalan perisai 5 cm. Material zincalume dapat digunakan sebagai perisai radiasi gamma energi rendah dengan ketebalan

2 cm dengan daya serap radiasi lebih dari setengahnya.

Kata Kunci : Radiasi; Zincalume;Atenuasi; Perisai; MCNPX

ABSTRACT

Radiation is energy that is emitted in the particles or waves of radioactive source. The particles can not be seen by naked eye among the alpha particle (α), beta (β) and gamma (γ). Meanwhile, if a particle interacts directly with the body also can cause ionization even mutations that will have a negative impact on health. Thus, in this paper will be measured attenuation coefficient material (μm) zincalume as radiation shields, the material is easy to find because it is produced and used widely in the construction field. Measurements were performed by simulation using the program transfort monte carlo MCNPX, includes detectors NaI(Tl) to advance in test the efficiency absolute and comparison between experiment and simulation, then material shield in the investigation of varying thickness of 2 cm - 10 cm using a radioactive source ^{60}Co . The measurement results showed attenuation coefficient increases with the thickness of the shield, the radiation intensity can be reduced by 95.58% with a thickness of 5 cm shield. Zincalume material can be used as low-energy gamma radiation shield with a thickness of 2 cm with the absorption of radiation by more than half.

Keywords : Radiation; zincalume; attenuation; Shielding; MCNPX

1. Pendahuluan

Radioisotop merupakan suatu inti yang tidak stabil, secara spontan akan berubah menjadi inti atom lain yang lebih stabil berupa partikel alpha (α), partikel beta (β) atau sinar gamma (γ) dipancarkan tersebut sinar- γ memiliki energi paling tinggi, didefinisikan mulai dari 10 keV. Sehingga akan berbahaya jika radiasi sinar- γ terpapar secara langsung pada lingkungan makhluk hidup, khususnya pada manusia. [1] Paparan radiasi sinar- γ secara langsung dengan dosis ekuivalen lebih dari 60 mSv terhadap tubuh manusia dapat menyebabkan terjadinya seperti luka bakar, kanker dan mutasi genetik bahkan berujung pada kematian. [10] Karakteristik dari radiasi sinar- γ membentuk spektrum elektromagnetik yang paparannya tidak dapat terlihat, sehingga diperlukan perisai untuk memproteksi radiasi agar tidak terpapar pada lingkungan.

Terdapat tiga kemungkinan kejadian akibat interaksi radiasi dengan materi yaitu:

- Efek fotolistrik kemungkinan terjadi jika materi bernomor massa tinggi.
- Hamburan Compton kemungkinan terjadi jika materi bernomor massa rendah.
- Produksi pasangan kemungkinan terjadi jika energi radiasi lebih dari 1 MeV. [6]

Ketiga kejadian tersebut akan terjadi pada material perisai karena energi yang dipancarkan oleh sumber radiasi bervariasi

dengan memancarkan energi radiasi.

Radiasi yang dipancarkan tersebut dapat

(γ). Diantara ketiga radiasi yang

Perisai untuk radiasi sinar- γ membutuhkan material dengan nomor atom dan densitas yang tinggi, timbal (Pb) material yang memiliki kriteria tersebut, namun material ini mahal dan penggunaannya terbatas atau sulit didapatkan. [2] Sehingga dalam studi ini memanfaatkan material yang diproduksi secara luas dan tidak terlalu mahal yaitu *zincalume*

sebagai perisai radiasi sinar- γ . Untuk menggunakan material perisai sebelumnya harus diketahui

kemampuan material dalam pelemahan radiasi, dikenal sebagai koefisien attenuasi material (μ) .

[9]

2. Bahan dan Metode

2.1. Validasi Model Detektor MCNP

Validasi model detektor NaI(Tl) dilakukan dengan melakukan perhitungan efisiensi absolut detektor. Model yang disimulasikan harus diketahui efisiensi absolutnya terutama dalam

pengukuran radioaktivitas.[4] Efisiensi absolut dihitung menggunakan persamaan (1) sebagai

$$\epsilon_{abs} = \frac{N_c}{N_s} \tag{1}$$

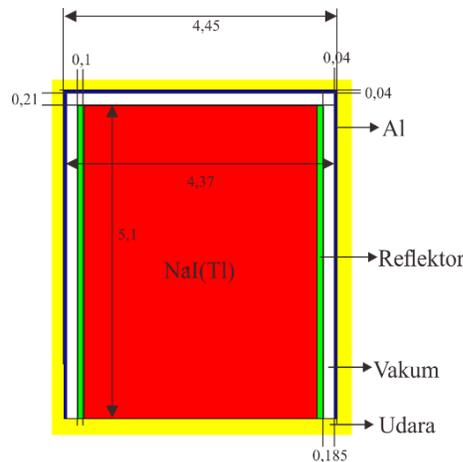
dimana N_c adalah jumlah cacah per detik yang terdeteksi oleh detektor (CPS), N_s adalah jumlah jumlah radiasi yang dipancarkan oleh sumber (Aktivitas). Model detektor NaI(Tl) disimulasikan dengan program transport Monte Carlo MCNPX.2.6.0, program yang dikhususkan untuk menyimulasikan setiap model interaksi radiasi dengan materi

berikut:

menggunakan metode Monte Carlo. Geometri model detektor ditunjukkan oleh Gambar 1. Parameter model detektor sesuai dengan detektor yang berada di Laboratorium Nuklir dan Energi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung dari manufaktur Sconix Hollan model 38 B 51/2-X ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Parameter detektor NaI(Tl) merk Scionix Holland

NO	Komponen	Densitas (g/cc)	Dimensi (cm)
1	Kristal NaI(Tl)	3.67	3.8 (diameter)
			5.1 (tinggi)
2	Lapisan Al ₂ O ₃	3.97	0.1
3	Penutup Al		4.45 (diameter)
			0.04 (tinggi)
4	Vakum (Kristal-Window)		0.21



Gambar 1. Geometri model detektor NaI(Tl) dengan MCNPX2.6.0

Respon dari model detektor yang disimulasikan ditentukan dengan definisi input *tally* rata-rata tinggi pulsa radiasi sinar- γ dari sumber terdeteksi yaitu *tally* F8:P [7]. Untuk mendapatkan spektrum energi yang di inginkan memanfaatkan *tally* khusus *Gaussian Energy Broading* (GEB)

mengikuti persamaan (2) sebagai berikut: $FWHM = a + b\sqrt{E} + cE^2$

(2) dengan konstanta $a = 0$, $b = 0.05086$, $c = 0.30486$ dan E adalah energi sumber. [3] Nilai cacahan pada setiap bin eneri ditentukan dengan nilai ketidakpastiannya, rentang bin energi dari 0-2000

keV. Model sumber radiasi menggunakan model sumber titik isotropik dari ^{60}Co dengan energi

emisi sinar- γ 1173 keV dan 1333 keV, banyak partikel yang disimulasikan yaitu satu milyar partikel (NPS 10E9). Simulasi dilakukan menggunakan PC (Personal

Computer) dengan spesifikasi prosesor Intel(R) Core(TM) i3-3110M @ 2.40 GHz, RAM (Random Array Memory) 2 GB dan sistem operasi Windows 7. Efisiensi absolut dari simulasi model detektor dihitung dibandingkan dengan efisiensi absolut hasil eksperimen, dimana eksperimen menggunakan sumber ^{60}Co aktivitas 74 kBq dari manufaktur Eckert dan Ziegler.

2.2. Perhitungan Koefisien Attenuasi Material

Perhitungan dilakukan dengan simulasi dari detektor NaI(Tl) menggunakan MCNPX2.6.0 yang telah divalidasi. Performa koefisien attenuasi material *zincalume* di investigasi melauli perbedaan ketebalan yang digunakan sebagai perisai radiasi dari ketebalan 2-10 cm dan perubahan pulsa cacahan akibat perbedaan ketebalan. Struktur elemen *zincalume* disajikan pada Tabel 2. Sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter material *zincalume* densitas 8.196 g.cm^{-3}

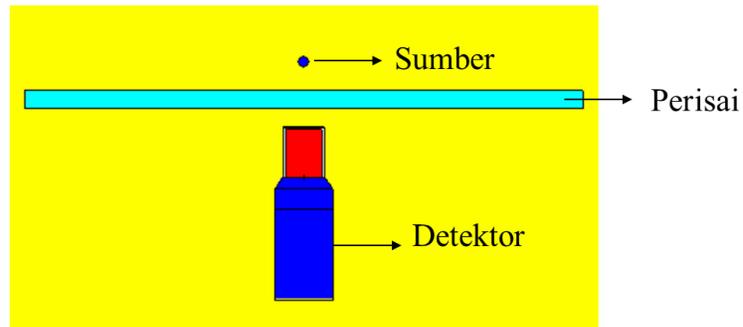
No	Elemen	Fraksi Massa (%)
1	Zn	55
2	Al	43
3	Si	2

Model perisai berada pada jarak 5 cm dari

depan detektor dan depan sumber dengan

diameter 30 cm agar menghindari paparan radiasi sumber secara langsung pada detektor. Model perhitungan koefisien

attenuasi material *zincalume* seperti Gambar 2.



Gambar 2. Model geometri dengan MCNPX2.6.0

Pencacahan pulsa radiasi yang diperhitungkan pada material perisai dan detektor. Perhitungan untuk mendapatkan koefisien attenuasi ditentukan dengan metode hukum Beer-Lamberts sebagai berikut.[8] $\mu \cdot x = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$ (3)

dimana I_0 dan I adalah intensitas radiasi sumber dan intensitas setelah melalui perisai, μ (cm^{-1}) adalah koefisien attenuasi tidak bergantung jenis material dan x (cm) adalah ketebalan perisai. Untuk mendapatkan koefisien attenuasi material menggunakan persamaan (4) sebagai

$$\mu_m = \left(\frac{\mu}{\rho}\right) \quad (4)$$

dimana ρ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) adalah densitas material perisai dan material μ_m ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) adalah koefisien atenuasi material.

3. Hasil dan Pembahasan

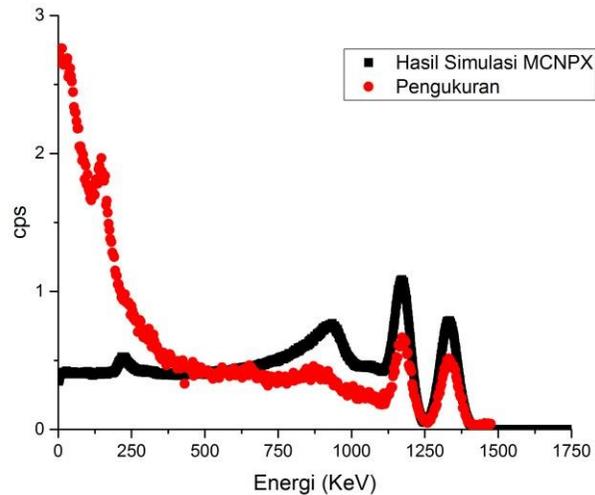
Hasil simulasi untuk pengukuran efisiensi absolut model detektor dan eksperimen masing-masing $9.9131\text{E}-2 \% \pm 0.02 \%$ dan $1.796\text{E}-2\%$. Efisiensi absolut detektor dari hasil eksperimen lebih kecil daripada simulasi dengan rasio sebesar 4.52% , rasio tersebut dapat disebabkan karena beberapa faktor seperti tidak sesuai spesifikasi geometri detektor yang disimulasikan dengan detektor ril karena bagian dalam detektor tidak dapat dibuka sehingga tidak dapat melihat lebih detail bagian dalam detektor, kemudian ketika eksperimen dilakukan sumber yang digunakan

dengan jarak 5 cm dari detektor, paparan radiasi akan tersebar kesegala arah (isotropik) tidak fokus pada detektor sehingga intensitas radiasi terdeteksi lebih kecil daripada intensitas terpancar, sesuai dengan persamaan (1) tentu akan mengurangi efisiensi detektor, selanjutnya faktor penurunan efisiensi dari detektor NaI(Tl) mengingat karakteristik dari krsital NaI(Tl) yang sensitif terhadap cahaya, sedangkan keadaan ruangan laboratorium sangat terang tidak ada filter cahaya.

Validasi model detektor jika dilihat dari spektrum energi terdeteksi seperti pada Gambar 3. Radiasi yang dipancarkan oleh sumber ^{60}Co diserap seluruhnya oleh elektron-elektron pada kristal detektor NaI(Tl) maka terjadi interaksi foton dengan material yang disebut efek fotolistrik. Efek fotolistrik menghasilkan puncak energi (photopeak) pada daerah energi 1173 keV. Apabila sinar- γ berinteraksi dengan sebuah elektron bebas atau yang terikat lemah, maka sebagian energi sinar- γ akan diserap oleh elektron dan terjadi hamburan Compton. Titik batas antara hamburan Compton dan efek fotolistrik menghasilkan puncak energi disebut Compton Edge terjadi pada daerah energi 800 keV. Kemudian pada daerah energi 240 keV terjadi Backscatter dimana foton dihamburkan keluar dikembalikan oleh reflektor kedalam detektor. Selain itu interaksi sinar- γ menyebabkan terjadinya

produksi pasangan pada daerah energi 1350 keV melalui inti atom sehingga terbentuknya pasangan positron dan elektron. Karena interaksi tersebut maka jumlah sinar- γ yang

berhasil mengenai kristal detektor akan berkurang.



Gambar 3. Spektrum deteksi radiasi terhadap energi

Validasi model detektor dengan MCNPX2.6.0 meskipun menunjukkan hasil yang berbeda dengan eksperimen, model detektor dapat digunakan untuk studi Perhitungan koefisien attenuasi material terhadap radiasi sinar- γ telah dilakukan dengan menggunakan ketebalan yang berbeda hasil dari setiap pengukuran masing-masing disajikan pada Tabel 3.

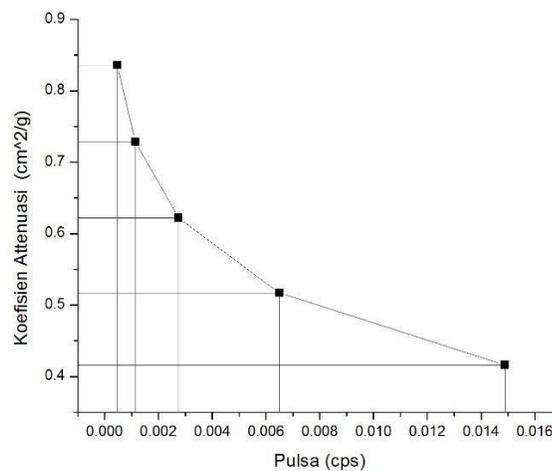
perhitungan koefisien attenuasi material karena nilai relatif *error* sangat kecil atau kurang dari 1%.

Tabel 3. Koefisien attenuasi material *zincalume* terhadap radiasi

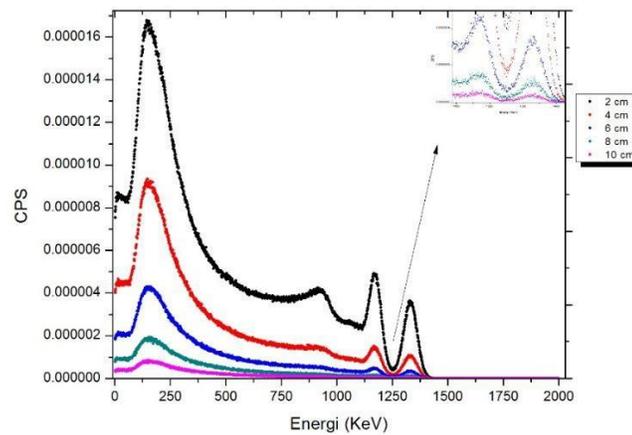
No	x (cm)	μ_m (cm ² .g ⁻¹)	Relatif error ± (%)
1	2	4.16E-01	0.03
2	4	5.17E-01	0.04
3	6	6.22E-01	0.06
4	8	7.29E-01	0.09
5	10	8.36E-01	0.14
Rata-rata		6.24E-01	0.072

Hasil pengukuran menunjukkan koefisien attenuasi semakin meningkat dengan bertambahnya ketebalan sesuai dengan intensitas radiasi yang terdeteksi oleh detektor semakin menurun, hal tersebut terjadi karena radiasi yang dipancarkan sumber tertahan dan tidak dapat menebus material perisai dengan densitas cukup tinggi 8.196 g.cm⁻³. Dari rata-rata koefisien attenuasi material terhitung dapat diketahui dengan ketebalan

perisai 2 cm intensitas radiasi sumber yang lolos hanya 28 %. Intensitas pulsa radiasi terdeteksi semakin tinggi dengan meningkatnya koefisien attenuasi material ditunjukkan pada Gambar 4. Pada titik terendah material mampu melemahkan intensitas radiasi lebih dari 83% dapat dilihat dari intensitas pulsa sumber yang datang sebesar 0.45 cps



Gambar 4. Penurunan intensitas pulsa terdeteksi terhadap koefisien attenuasi material



Gambar 5. Penurunan spektrum pulsa radiasi terhadap energi

Dapat terlihat pada Gambar 5. spektrum pulsa gejala fisis yang terjadi persis seperti spektrum pada pengukuran efisiensi absolut detektor, hanya Gambar 5. menunjukkan pelemahan hingga pada ketebalan 10 cm dari energi 250 keV pulsa terdeteksi mendekati nol yaitu $1\text{E}-9$ cps hingga $9\text{E}-9$ cps. Hal tersebut menunjukkan material *zincalume* layak untuk digunakan sebagai perisai radiasi.

4. Simpulan

Efisiensi absolut model detektor dipengaruhi oleh ketidakakuratan geometri model namun tidak menjadi kendala selama nilai relatif error kurang dari 1%. Material *zincalume* dapat digunakan sebagai perisai dengan ketebalan minimal 5 cm yang kemampuan pelemahan radiasi sinar-sebesar 95.58% untuk sumber radioaktif ^{60}Co dengan aktivitas 74 kBq.

5 Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada laboran yang selalu memberikan bantuan dalam akses dan kebutuhan laboratorium, sehingga dapat diselesaikannya studi ini.

5. Referensi

- [1] Lamarsh, J.R., Baratta, J.A. eds. (1982). *Introduction to Nuclear Engineering*. Reading, Mass.: Addison- Wesley.
- [2] Shirmadi, S.P., Shamsae., M, Naserepour., M (2013). Comparison of Photon Attenuation Coefficients of Various Barite Concretes and Lead by MCNP Code, XCOM and Experimental DataNew Ways to Make Microcircuits Smaller. *Annals of Nuclear Energy*, 55: 288-291.
- [3] Salgado, C.M., *at all*. (2012). Validation of a NaI(Tl) Detector's Model Developed with MCNP-X Code. *Progress in Nuclear Energy*, 59: 19-25.
- [4] Tekin., H.O. (2016). MCNP-X Monte

- Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3x3 Inch NaI(Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data. *Tscience and Technology of Nuclear Installation*, 2016: 1-7.
- [5] Schwarz, A., Schwarz, R., Carter, L. (2008). *MCNP/MCNPX Visual Editor Computer Code Manual, this manual applies to MCNPX version 2.6.0*. New Mexico: Los Alamos National Laboratory.
- [6] Alatas, Z., dkk. eds. (2013). *Buku Pintar Nuklir*. JKT: BATAN.
- [7] Fitriani, A.N. (2016). : Penentuan Efisiensi Detektor NaI(Tl) Menggunakan Metode Monte Carlo *Software MCNPX, Skripsi*, Dept. Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- [8] Ummuttaufiqoh, T. (2016). : Desain Ketebalan Perisai untuk Sumber Radiasi Gamma pada Detektor Sintilasi dengan Menggunakan MCNPX, *Skripsi*, Dept. Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- [9] Pleitt, J.J. (2012). Determination of Linear Attenuation Coefficients of Chemically Bonded Phosphate Ceramics. *Meng Thesis*, Department of Mining and Nuclear Engineering, Missouri University of Science and Technology.
- [10] BATAN.(8 Desember 2016). *sumber URL* <http://www.batan.go.id/ensiklopedi/08/01/02/03/08-01-02-03.html>.