

PENGUKURAN LAJU DOSIS NEUTRON TERMAL DAN EPITERMAL DI MEDAN KALIBRASI RADIASI NEUTRON DENGAN AKTIVASI KEPING INDIUM

Nur Khasanah^{1)*}, Chomsin S. Widodo¹⁾, Bunawas²⁾

¹⁾Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya, Malang

²⁾Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTKMR-BATAN), Jakarta

Email: nurkhasanahphysics@gmail.com

ABSTRAK

Selama ini surveimeter lingkungan dan dosimeter personal hanya dikalibrasi dengan sumber radiasi beta, gamma dan neutron cepat. Sedangkan, kontribusi neutron dalam kalibrasi surveimeter lingkungan dan dosimeter personal masih seringkali diabaikan. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus mengenai evaluasi laju dosis neutron termal dan laju dosis neutron epitermal. Pengukuran dosis neutron termal dan dosis neutron epitermal dilakukan dengan aktivasi keping Indium yang dilakukan di fasilitas polyetilen dan grafit, serta di fasilitas beton berbentuk U terbalik. Sumber radiasi neutron yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cf^{252} . Spektrum radiasi neutron dapat dihasilkan dengan menggunakan Bonner sphere. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sekitar 73,9% di fasilitas grafit dan polyetilene adalah neutron termal. Pada fasilitas beton berbentuk U terbalik, sekitar 80,3% di dominasi oleh radiasi neutron epitermal.

Kata kunci: Laju dosis neutron, aktivasi keping Indium, medan kalibrasi radiasi neutron

Pendahuluan

Selama ini surveimeter lingkungan dan dosimeter personal hanya dikalibrasi dengan sumber radiasi beta, gamma dan neutron cepat. Sedangkan, kontribusi neutron termal dan epitermal dalam kalibrasi surveimeter lingkungan dan dosimeter personal masih seringkali diabaikan. Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus mengenai evaluasi dari dosis neutron, khususnya pada neutron termal dan neutron epitermal. Sedangkan laju dosis neutron di fasilitas polyetilen dan grafit, serta di fasilitas beton berbentuk U terbalik yang ada di PTKMR-BATAN hanya berdasarkan data simulasi MCNP. Pengukuran dosis neutron termal dan dosis neutron epitermal didekati dengan metode aktivasi keping Indium. Metode aktivasi keping Indium merupakan suatu metode dimana keping Indium diaktivasi dengan menggunakan spektrum radiasi neutron sehingga keping Indium menjadi tidak stabil. Sumber radiasi neutron yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cf^{252} . Laju dosis neutron termal dan laju dosis neutron epitermal dapat didekati dengan mengalikan fluks neutron termal dan fluks neutron epitermal dengan faktor konversi dosis berdasarkan ICRP 74 [5].

Spektrum radiasi neutron dapat dihasilkan dengan menggunakan *Bonner sphere*. *Bonner sphere* adalah sistem detektor aktif yang menggunakan beberapa bola polyetilene yang berbeda ukuran dengan detektor sintilasi Ludlum

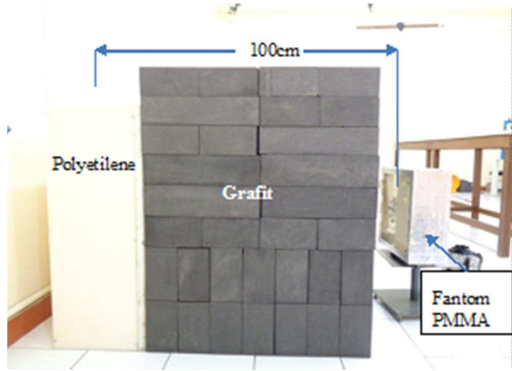
500 yang diletakkan di tengah. Dengan menggunakan moderator yang berbeda ukuran, kemungkinan dapat digunakan untuk membedakan beberapa energi neutron yang berbeda sehingga dapat menghasilkan spektrum radiasi neutron di medan radiasi neutron. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan data besarnya laju dosis neutron termal dan epitermal di medan kalibrasi radiasi neutron yang dapat digunakan sebagai acuan atau referensi untuk kalibrasi surveimeter lingkungan dan dosimeter personal.

Metode

Aktivasi keping In dan Cd-In di medan kalibrasi radiasi neutron

Pada gambar 1 aktivasi keping Indium dan keping Cd-In dilakukan dengan menggunakan grafit ukuran $80 \times 80 \times 80 \text{ cm}^3$ yang berhimpitan dengan polyetilene ukuran $80 \times 80 \times 20 \text{ cm}^3$. Keping Indium dan keping Cd-In disusun pada fantom PMMA ukuran $40 \times 40 \times 15 \text{ cm}^3$. Oleh karena dosimeter personal hanya merespon radiasi hamburan dari tubuh pekerja radiasi maka digunakan fantom PMMA yang diibaratkan sebagai jaringan tubuh yang dikenai radiasi neutron. Sumber neutron ^{252}Cf dimasukkan dalam polyetilene dengan ketinggian 46,625 cm dari lantai. Jarak antara sumber neutron ^{252}Cf dengan keping Indium dan keping Cd-In adalah 100 cm.

Keping Indium dan keping Cd-In diiradiasi dengan sumber neutron ^{252}Cf selama 18000 detik.



Gambar 1. Fasilitas grafit dan polyetilene

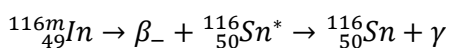
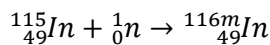
Pada gambar 2 aktivasi keping Indium dan keping Cd-In dilakukan dengan menggunakan beton berbentuk U terbalik. Sumber neutron ^{252}Cf dimasukkan dalam ruang beton yang berbentuk huruf U terbalik dan diposisikan berjarak 20 cm dari dinding ruangan kalibrasi dengan ketinggian 61,625 cm dari lantai. Jarak antara sumber neutron ^{252}Cf dengan keping Indium dan keping Cd-In adalah 40 cm. Keping Indium dan keping Cd-In diiradiasi dengan sumber neutron ^{252}Cf selama 3600 detik.



Gambar 2. Fasilitas beton berbentuk U terbalik

Pencacahan Sinar Gamma dengan Spektrometer Gamma HPGe

Setelah aktivasi, keping Indium dan keping Cd-In menjadi metastabil. Untuk menjadi stabil lagi, keping Indium dan keping Cd-In ini akan memancarkan sinar gamma.



$$T_{1/2} = 54,41 \text{ menit}$$

Pencacahan sinar gamma dari peluruhan $^{116m}_{49}\text{In}$ merupakan dasar untuk menentukan aktivitas keping Indium dan keping Cd-In. Pencacahan sinar gamma menggunakan 2 spektrometer gamma HPGe, yaitu spektrometer gamma HPGe (High Purity Germanium) tipe GEM 60-4-XLB-

C-SMP dan spektrometer gamma HPGe (High Purity Germanium) tipe GEM 60-5-XLB-C-SMP.

Penentuan Aktivitas keping In dan Cd-In

Dengan diketahui cacahan (cps) dari sinar gamma, maka besarnya aktivitas yang terukur dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A = \frac{\text{cps}}{\varepsilon \cdot \gamma(E_i)}$$

$$A_{th} = A_{In} - A_{Cd-In}$$

$$A_{epi} = A_{Cd-In}$$

Dimana cps adalah cacahan per sekon atau luas di bawah puncak energi E_i , ε adalah efisiensi deteksi spektrometer gamma, $\gamma(E_i)$ adalah probabilitas pancaran sinar gamma pada energi E_i .

Perhitungan Fluks dan Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal

Besarnya fluks neutron termal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\phi_{ther} = \frac{A_{ther} \cdot W \cdot e^{\lambda t'}}{d_m \cdot S \cdot N_0 \cdot \sigma_{ther} \cdot (1 - e^{-\lambda t_n})}$$

Sedangkan besarnya fluks neutron epitermal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\phi_{epi} = \frac{A_{epi} \cdot F_{Cd} \cdot W \cdot e^{\lambda t'}}{d_m \cdot S \cdot N_0 \cdot C \cdot (1 - e^{-\lambda t_n})} \cdot \int_{0,4eV}^{100keV} \frac{dE}{E}$$

Dimana C merupakan nilai integral aktivasi resonansi yang dinyatakan sebagai berikut:

$$C = \int_{0,4eV}^{\infty} \frac{\sigma(E)}{E} dE$$

Φ_{ther} adalah fluks neutron termal, ϕ_{epi} adalah fluks neutron epitermal, A_{ther} adalah aktivitas foil Indium yang disebabkan oleh neutron, A_{epi} adalah aktivitas foil Indium yang disebabkan oleh neutron epitermal, σ_{ther} adalah *cross section* neutron termal, d_m adalah densitas foil (80 mg/cm^2), t_n waktu iradiasi neutron, t' adalah waktu pengukuran aktivitas pada detektor, λ adalah konstanta peluruhan ($0,0002135 \text{ s}^{-1}$), F_{Cd} adalah faktor koreksi untuk absorpsi neutron epitermal pada Cadmium, W adalah nomer massa (^{115}In), S adalah luas foil ($1,252208 \text{ cm}^2$), dan N_0 adalah bilangan Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$) [3].

F_{Cd} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$F_{Cd} = e^{\sum_{Cd}(E_\gamma) t_c}$$

Dimana,

$$\sum_{Cd}(E_\gamma) = \frac{N_a \rho_{Cd}}{A_{Cd}} \sigma_{Cd}(E_{Cd})$$

$\Sigma_{Cd}(E_\gamma)$ adalah total tampang lintang rata-rata makroskopis neutron, $\sigma_{Cd}(E_{Cd})$ adalah tampang lintang absorpsi Cadmium (5,5 barn), A_{Cd} adalah nomor massa Cadmium (112,40), ρ_{Cd} adalah massa jenis Cadmium (8,65 gr/cm³), N_a adalah bilangan Avogadro (6,022 x 10²³ atom/mol), dan t_c adalah ketebalan Cadmium [2]. Laju dosis neutron epitermal dan laju dosis neutron termal dapat ditentukan dengan mengkalikan fluks neutron termal dan fluks neutron epitermal dengan faktor konversi dosis ($h_{p, slab \phi}$) [1].

$$H = \phi x h_{p,slab\phi}$$

Hasil dan Pembahasan

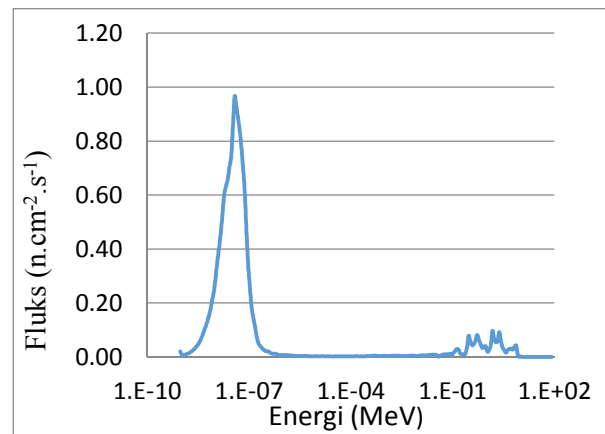
Nilai Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Grafit dan Polietilene

Tabel 1. Laju dosis neutron termal dan epitermal di fasilitas Grafit dan Polyetilene

No. Keping Indium	Laju Dosis Neutron Termal (μSv/jam)	No. Keping Cd-In	Laju Dosis Neutron Epitermal (μSv/jam)
In 1	2,9	Cd-In 1	1,0
In 2	3,4	Cd-In 2	1,0
In 3	4,5	Cd-In 3	1,3
In 4	3,2	Cd-In 4	1,5
In 5	3,1	Cd-In 5	1,0

Berdasarkan pengukuran 5 keping Indium dapat diketahui bahwa rata-rata laju dosis neutron termal di fasilitas Grafit dan Polyetilene sebesar 3,4 μSv/jam. Neutron termal di fasilitas ini dihasilkan dari proses termalisasi dari neutron cepat yang dipancarkan oleh sumber neutron ²⁵²Cf. Atom-atom hydrogen di dalam polyetilene memperlambat neutron cepat yang dipancarkan sumber ²⁵²Cf [6]. Selain itu, rata-rata laju dosis neutron epitermalnya sebesar 1,2μSv/jam. Sekitar 73,9% di fasilitas grafit dan polyetilene adalah neutron termal, sehingga pada fasilitas grafit dan polyetilene dapat digunakan sebagai medan radiasi neutron termal untuk mengkalibrasi dosimeter personal maupun dosimeter lingkungan.

Untuk komparasi data, dilakukan pengukuran radiasi neutron dengan menggunakan *Bonner Sphere*. Berdasarkan spektrum pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa fluks neutron yang dominan di fasilitas grafit dan polyetilene adalah fluks neutron termal sebesar 88% dibandingkan dengan fluks neutron epitermal.



Gambar 3. Spektrum radiasi neutron di fasilitas grafit dan polyetilene

Total laju dosis neutron berdasarkan hasil *Bonner Sphere* yang merupakan metode sekunder untuk menentukan laju dosis radiasi neutron yaitu sebesar 4,2 μSv/jam. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil metode aktivasi keping Indium dan keping Indium yang tercover Cadmium yang merupakan metode tersier untuk menentukan laju dosis radiasi neutron. Total laju dosis neutron berdasarkan hasil metode keping aktivasi yaitu sebesar 4,6 μSv/jam.

Nilai Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Beton Berbentuk U Terbalik

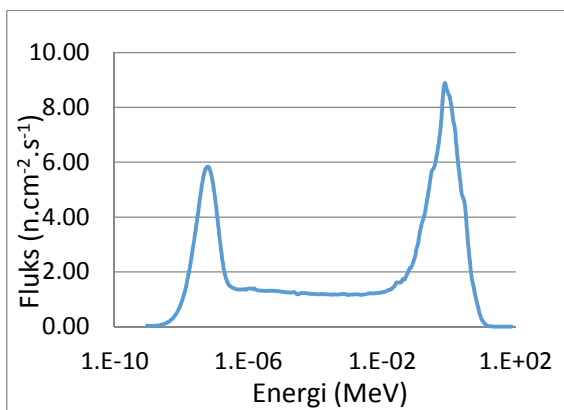
Tabel 2. Laju dosis neutron termal dan epitermal di fasilitas Beton berbentuk U terbalik

No. Keping Indium	Laju Dosis Neutron Termal (μSv/jam)	No. Keping Cd-In	Laju Dosis Neutron Epitermal (μSv/jam)
In 1	84,6	Cd-In 1	341,6
In 2	82,4	Cd-In 2	321,2
In 3	88,1	Cd-In 3	386,6
In 4	76,5	Cd-In 4	322,4
In 5	86,4	Cd-In 5	330,6

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa rata-rata laju dosis neutron termal sebesar 83,6 μSv/jam. Pada fasilitas beton berbentuk U terbalik, juga dihasilkan neutron epitermal. Neutron cepat yang dipancarkan oleh sumber neutron ²⁵²Cf akan mengalami tumbukan non elastik dengan dinding-dinding beton, sehingga sebagian energi neutron cepat akan berkurang [4]. Pengurangan energi neutron cepat ini dapat menghasilkan neutron-neutron dengan energi yang lebih rendah yaitu neutron termal dan neutron epitermal. Beton dengan densitas tinggi

ini mempunyaiampang lintang hamburan yang besar daripadaampang lintang serapan, sehingga beton tidak dapat menyerap neutron dalam jumlah banyak. Selain itu, jarak antara keping Indium dengan sumber neutron ^{252}Cf digunakan jarak yang relatif kecil yaitu 40 cm untuk meminimalisir hamburan balik ruangan.

Sedangkan rata-rata laju dosis neutron epitermal sebesar $340,5 \mu\text{Sv/jam}$. Pada fasilitas beton berbentuk U terbalik, sekitar 80,3% di dominasi oleh radiasi neutron epitermal. Untuk komparasi data, dilakukan pengukuran radiasi neutron dengan menggunakan *Bonner Sphere*. Spektrum radiasi neutron yang ditunjukkan pada gambar 4 dapat dilihat bahwa fluks neutron yang paling dominan di fasilitas beton berbentuk U terbalik adalah neutron epitermal yaitu sebesar 75%. Total laju dosis neutron berdasarkan hasil *Bonner Sphere* yaitu sebesar $409,4 \mu\text{Sv/jam}$. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil metode aktivasi keping Indium dan keping Indium yang tercover Cadmium, total laju dosis neutron berdasarkan hasil metode keping aktivasi yaitu sebesar $424,1 \mu\text{Sv/jam}$. Jika dibandingkan di fasilitas grafit dan polyetilene, fluks neutron termal yang dominan. Oleh karena itu, di fasilitas beton berbentuk U terbalik dapat digunakan sebagai medan kalibrasi radiasi neutron epitermal. Sedangkan di fasilitas grafit dan polyetilene dapat digunakan sebagai medan kalibrasi radiasi neutron termal.



Gambar 4. Spektrum radiasi neutron di fasilitas beton berbentuk U terbalik

Kesimpulan

Pada fasilitas grafit dan polyetilene rata-rata laju dosis neutron termalnya sebesar $3,4 \mu\text{Sv/jam}$ dan rata-rata laju dosis neutron epitermalnya sebesar $1,2 \mu\text{Sv/jam}$. Berdasarkan pengukuran aktivasi keping Indium, sekitar 73,9% di fasilitas grafit dan polyetilene adalah neutron termal. Sedangkan berdasarkan pengukuran *Bonner Sphere*, sekitar 88% di fasilitas grafit dan

polyetilene adalah neutron termal. Pada fasilitas beton berbentuk U terbalik diperoleh rata-rata laju dosis neutron termal sebesar $83,6 \mu\text{Sv/jam}$. Selain itu, juga diperoleh rata-rata laju dosis neutron epitermal sebesar $340,5 \mu\text{Sv/jam}$. Berdasarkan pengukuran aktivasi keping Indium, pada fasilitas beton berbentuk U terbalik, sekitar 80,3% di dominasi oleh radiasi neutron epitermal. Hal ini tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran *Bonner Sphere* yaitu sekitar 75% didominasi oleh neutron epitermal.

Daftar Pustaka

- [1] A. Allisy, W.A. Jennings, A.M. Kellerer, J.W. Müller, and H.H.R., 1991. *Quantities and Units for Use in Radiation Protection A Draft Report*,
- [2] Jahan, Q.M., 2008. *Charaterization of Neutron Dosimeters Containing Perforated Neutron Detectors*. Kansas State University.
- [3] Konefał, A. et al., 2005. Thermal and epithermal neutrons in the vicinity of the Primus Siemens biomedical accelerator. , 50(December 2004).
- [4] Markum, M.E., 2012. *Dasar Fisika Radiasi*, Yogyakarta: STTN-BATAN.
- [5] Petoussi-Henss, N. et al., 2010. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. *Annals of the ICRP*, 40(2-5), pp.1–257
- [6] Zhou, Y.A. & Schneider, E., 2010. *Investigation of Possible Hydrogen Shielding Effect on Epithermal Neutron Activation Analysis approach*. University of Texas