



# AKTIVASI KEPING INDIUM SEBAGAI METODE PENGUKURAN DOSIS NEUTRON TERMAL DAN EPITERMAL DI TUNNEL REAKTOR SERBA GUNA G. A SIWABESSY

Nur Khasanah<sup>1,\*</sup>), Bunawas<sup>2)</sup>, Lalu Sahrul Hudha<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Tadris Fisika, FTK, Universitas Islam Negeri Mataram, Mataram

<sup>2)</sup>NuklindoLab, Koperasi JKRL, Jakarta Selatan

<sup>3)</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram

\*E-mail korespondensi: nurkhasanah@uinmataram.ac.id

## Info Artikel:

Dikirim:  
28 Januari 2022  
Revisi:  
04 Maret 2022  
Diterima:  
09 Maret 2022

## Kata Kunci:

Reaktor Nuklir,  
Neutron Termal,  
Neutron  
Epitermal, Laju  
dosis Neutron,  
Bonner Sphere.

## Abstrak

Keberadaan radiasi neutron yang mempunyai rentang energi luas memiliki implikasi yang cukup signifikan untuk diperhatikan terkait dengan proteksi radiasi. Salah satu lokasi yang rentan terpapar radiasi neutron adalah tunnel reaktor serba guna G. A. Siwabessy yang merupakan saluran yang mengalirkan hasil reaksi fisi pada reaktor berupa radiasi neutron dan energi panas. Spektrum energi neutron yang perlu menjadi perhatian dalam proteksi radiasi neutron adalah neutron thermal dan neutron epithermal. Oleh karena itu, pengukuran laju dosis neutron termal dan epitermal telah dilakukan di lokasi tersebut dengan metode aktivasi keping Indium dan Indium dilapisi Cadmium. Setelah itu, keping Indium meluruh menghasilkan radiasi gamma yang dicacah menggunakan spektrometer gamma HPGe (*High Purity Germanium*). Hasil cacahan tersebut digunakan untuk menghitung besarnya fluks dan laju dosis neutron thermal dan epithermal. Sehingga didapatkan bahwa fluks dan laju dosis thermal maupun epithermal yang paling besar diperoleh di titik sambungan antara parafin. Selain itu, didapatkan bahwa pada titik tersebut laju dosis neutron epitermal sebesar  $9,2 \mu\text{Sv/jam}$  dan neutron termal sebesar  $2,2 \mu\text{Sv/jam}$  atau 80,7% didominasi oleh neutron epitermal. Hasil tersebut hampir sama jika dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan *Bonner Sphere* sebagai metode standar pengukuran spektrum radiasi neutron yang menunjukkan bahwa di titik tersebut laju dosis neutron didominasi oleh neutron epitermal sebesar 74,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode aktivasi keping indium bisa menjadi metode alternatif yang praktis dan murah sebagai acuan atau referensi dalam pertimbangan tindakan proteksi radiasi neutron untuk pihak yang terkait.

© 2021 Universitas Islam Negeri Mataram

## PENDAHULUAN

Reaktor nuklir merupakan fasilitas yang digunakan untuk menciptakan reaksi nuklir yang dapat dikontrol. Reaksi nuklir yang terjadi pada umumnya adalah reaksi fisi berantai dari unsur radioaktif seperti Uranium yang umumnya menghasilkan neutron dan energi panas [1]. Berdasarkan fungsinya, terdapat dua jenis reaktor nuklir, yaitu Reaktor nuklir untuk pembangkit listrik dan reaktor nuklir untuk penelitian. Salah satu reaktor nuklir di Indonesia yang digunakan dalam penelitian adalah Reaktor serba guna GA Siwabessy Serpong. Seperti pada reaktor penelitian pada umumnya, produk utama dari reaksi nuklir yang dimanfaatkan pada Reaktor serbaguna GA Siwabessy adalah neutron

untuk keperluan berbagai penelitian dan produksi isotop [2]. Rentang spektrum energi neutron dibagi menjadi 3 bagian, yaitu neutron termal, neutron epitermal, dan neutron cepat. Neutron termal mempunyai rentang energi dibawah 0,025 eV, Neutron epitermal mempunyai rentang energi berkisar antara 0,025 eV – 0,5 eV dan 0,5 eV - 100 keV, sedangkan neutron cepat mempunyai energi diatas 100 keV [3]. Berdasarkan informasi ini terlihat bahwa spektrum radiasi neutron mempunyai rentang energi yang cukup besar dan mempunyai faktor pembobot radiasi yang besar pula. Radiasi neutron yang dimanfaatkan dari hasil reaksi fisi pada reaktor, akan disalurkan ke gedung fasilitas pemanfaatan neutron melalui suatu tunnel. Pada dinding tunnel terdapat lapisan Parafin setebal 60 cm sebagai proteksi radiasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran laju dosis neutron termal pada daerah dinding luar tunnel. Hal ini menjadi salah satu parameter untuk proteksi radiasi di daerah sekitar tunnel.

Fluks neutron dapat diukur dengan metode langsung maupun tidak langsung. Salah satu metode pengukuran langsung adalah metode detektor swadaya [4], [5]. Sedangkan metode aktivasi bisa dipilih sebagai metode tidak langsung untuk pengukuran fluks neutron [6][7]. Metode aktivasi dilakukan berdasarkan perubahan aktivitas radiasi keping logam tertentu setelah terjadi reaksi inti atom logam dengan neutron ketika keping logam tersebut diletakkan di medan fluks neutron. Inti-inti radionuklida yang terbentuk pada reaksi tersebut akan memancarkan radiasi dalam bentuk  $\alpha$ ,  $\beta$ , atau  $\gamma$ . Besarnya pancaran radiasi ini dipengaruhi berbagai faktor, khususnya berkaitan dengan besarnya kerapatan fluks neutron yang mengenai permukaan lintang keping logam dengan luas tertentu. Sehingga metode aktivasi keping tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi bahkan mengukur tingkat energi radiasi neutron pada suatu lokasi secara tidak langsung. Hasil pengukuran tersebut dapat dikomparasikan dengan pengukuran spektrum energi neutron standar seperti menggunakan *Bonner sphere Spectrometer* [8]–[11]. *Bonner sphere Spectrometer* terdiri dari detektor neutron thermal yang ditempatkan di pusat bola polyethylene dengan ukuran yang berbeda-beda untuk menghasilkan spektrum radiasi neutron. Metode ini banyak digunakan pada pengukuran proteksi radiasi karena memiliki rentang spektrum energi neutron yang lebar hingga skala GeV [12].

Pengukuran laju dosis neutron termal dan neutron epitermal di tunnel reaktor serba guna G. A. Siwabessy dilakukan untuk mendeteksi adanya radiasi neutron di sekitar tunnel tersebut. Mengingat banyak para pekerja yang sering melintas di tunnel tersebut. BAPETEN juga menghimbau untuk melakukan pengukuran paparan radiasi daerah kerja khususnya pada titik-titik lokasi tertentu dan ruangan yang berpotensi mempunyai tingkat radiasi yang tinggi. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar para pekerja radiasi tidak menerima dosis radiasi melebihi batas ambang. Keberadaan radiasi neutron yang mempunyai rentang energi luas memiliki implikasi yang cukup signifikan untuk diperhatikan terkait dengan proteksi radiasi.

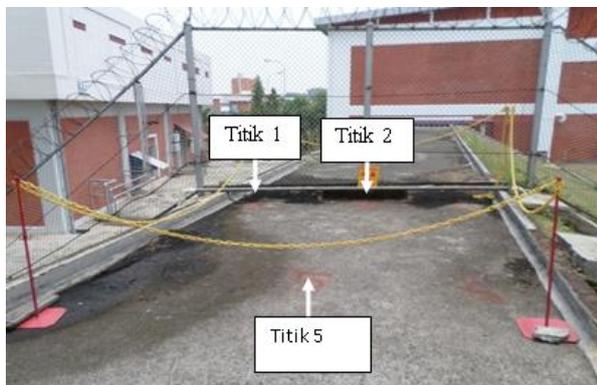
Dalam penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan data besarnya laju dosis neutron termal dan epitermal di tunnel reaktor serba guna G. A. Siwabessy, Serpong. Sehingga hasil penelitian ini nantinya dapat digunakan sebagai acuan atau referensi dalam pertimbangan tindakan proteksi radiasi neutron untuk pihak yang terkait.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilaksanakan di tunnel Reaktor serba guna G. A. Siwabessy Serpong dan Laboratorium Kalibrasi Neutron, Ruang Cacah Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN Jakarta Selatan. Pengukuran fluks neutron termal dan neutron epitermal dilakukan dengan metode aktivasi keping. Fluks neutron termal didapatkan dengan meradiasi suatu keping yang terbungkus dengan Cadmium. Cadmium dapat menyerap semua radiasi neutron yang mempunyai energi di bawah 0,4 eV dan melewatkan radiasi neutron yang mempunyai energi di atas 0,4 eV. Pembungkus Cadmium dapat menyerap neutron termal dan meloloskan neutron epitermal dan neutron cepat untuk mengaktivasi keping yang terbungkus Cadmium [13][6]. Oleh karena itu, terdapat beberapa langkah yang dilakukan pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

### **Aktivasi keping In dan Cd-In di tunnel Reaktor serba guna G. A. Siwabessy**

Aktivasi keping Indium (In) dan keping Indium yang dibungkus Cadmium (Cd-In) dilakukan dengan cara meletakkan keping In dan keping Cd-In pada 3 titik di tunnel reaktor. Di setiap titik pengukuran, diletakkan 3 keping In dan 3 keping Cd-In. Keping In dan keping Cd-In dibungkus dengan plastik dan ditempelkan pada kertas tipis. Aktivasi keping In dan keping Cd-In di tunnel reaktor G. A. Siwabessy dilakukan selama 18420 detik. Posisi aktivasi pada tunnel reaktor G. A. Siwabessy ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tunnel Reaktor serba guna G. A Siwabessy

### Pencacahan Sinar Gamma dengan Spektrometer Gamma HPGe

Aktivitas keping indium dan keping Cd-In yang sudah teraktivasi di tunnel reaktor G.A. Siwabessy ditentukan berdasarkan hasil cacahan sinar gamma menggunakan spektrometer gamma HPGe (*High Purity Germanium*). Pencacahan dilakukan pada sinar gamma yang mempunyai energi 1294 keV selama 1200 detik.

### Perhitungan Fluks dan Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal

Secara umum, aktivitas radiasi yang terukur dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berdasarkan hasil cacahan sinar gamma per sekon (*cps*) yang dipancarkan pada saat peluruhan inti atom. Sehingga besarnya aktivitas neutron epitermal diperoleh dari besarnya aktivitas keping Indium yang dibungkus Cadmium seperti persamaan (2). Sedangkan aktivitas neutron termal diperoleh dengan mengurangi aktivitas keping Indium dengan aktivitas keping Indium yang dibungkus Cadmium seperti persamaan (3).

$$A = \frac{cps}{\varepsilon \cdot \gamma(E_i)} \quad (1)$$

$$A_{epi} = A_{Cd-In} \quad (2)$$

$$A_{ther} = A_{In} - A_{Cd-In} \quad (3)$$

Perhitungan aktivitas ini dipengaruhi oleh efisiensi detektor spektrometer gamma ( $\varepsilon$ ) dan probabilitas pancaran sinar gamma pada energi tertentu ( $\gamma(E_i)$ ). Berdasarkan perhitungan aktivitas radiasi neutron thermal tersebut, maka besarnya fluks neutron thermal dapat diperoleh dengan mensubstitusikan hasil perhitungan aktivitas radiasi neutron thermal ( $A_{ther}$ ) ke dalam persamaan (4).

$$\phi_{ther} = \frac{A_{ther} \cdot W \cdot e^{\lambda \cdot t'}}{d_m \cdot S \cdot N_0 \cdot \sigma_{ther} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_n})} \quad (4)$$

Sedangkan besarnya fluks neutron epitermal diperoleh dengan mensubstitusikan aktivitas neutron epitermal ke persamaan (5):

$$\phi_{epi} = \frac{A_{epi} \cdot F_{Cd} \cdot W \cdot e^{\lambda t'}}{d_m \cdot S \cdot N_0 \cdot C \cdot (1 - e^{-\lambda t_n})} \int_{0,4eV}^{100keV} \frac{dE}{E} \quad (5)$$

$\Phi_{ther}$  adalah fluks neutron termal,  $\phi_{epi}$  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,  $\sigma_{ther}$  adalah cross section neutron termal,  $dm$  adalah densitas foil (80 mg/cm<sup>2</sup>),  $t_n$  waktu iradiasi neutron,  $t'$  adalah waktu antara selesai iradiasi dan waktu mulai pengukuran aktivitas pada detektor,  $\lambda$  adalah konstanta peluruhan (0,0002135 s<sup>-1</sup>),  $F_{Cd}$  adalah faktor koreksi untuk absorpsi neutron epitermal pada Cadmium,  $W$  adalah nomer massa (<sup>115</sup>In),  $S$  adalah luas foil (1,252208 cm<sup>2</sup>), dan  $N_0$  adalah bilangan Avogadro (6,022 x 10<sup>23</sup>). Laju dosis neutron epitermal dan laju dosis neutron termal dapat ditentukan dengan mengalikan fluks neutron termal dan fluks neutron epitermal dengan faktor konversi dosis ( $h_{p, slab \phi}$ ) seperti persamaan (6).

$$H = \phi \cdot h_{p,slab\phi} \tag{6}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil reaksi fisi pada reaktor berupa radiasi neutron dan energi panas. Radiasi neutron yang dimanfaatkan, akan disalurkan ke gedung fasilitas pemanfaatan neutron melalui suatu tunnel. Pada dinding tunnel terdapat lapisan Parafin setebal 60 cm sebagai proteksi radiasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran laju dosis neutron termal pada daerah dinding luar tunnel. Hal ini menjadi salah satu parameter untuk proteksi radiasi di daerah sekitar tunnel. Proteksi radiasi merupakan tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Tabel 1 merupakan hasil pengukuran aktivasi keping Indium di atas tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy.

Tabel 1 Hasil pengukuran aktivasi keping Indium di atas tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy

No. Keping Indium	Aktivitas (Bq)	Fluks Neutron Termal (n.cm <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Laju Dosis Neutron Termal (μSv/jam)
In 1	5,76	32,2	1,4
In 2	7,24	46,6	2,0
In 5	8,17	50,7	2,2

Pengukuran dilakukan di 3 titik di atas dinding shutter sebagai gerbang neutron. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa fluks neutron termal tertinggi berada di titik 5. Laju dosis neutron termal di titik 5 juga lebih besar daripada laju dosis neutron termal di titik-1 dan titik-2.

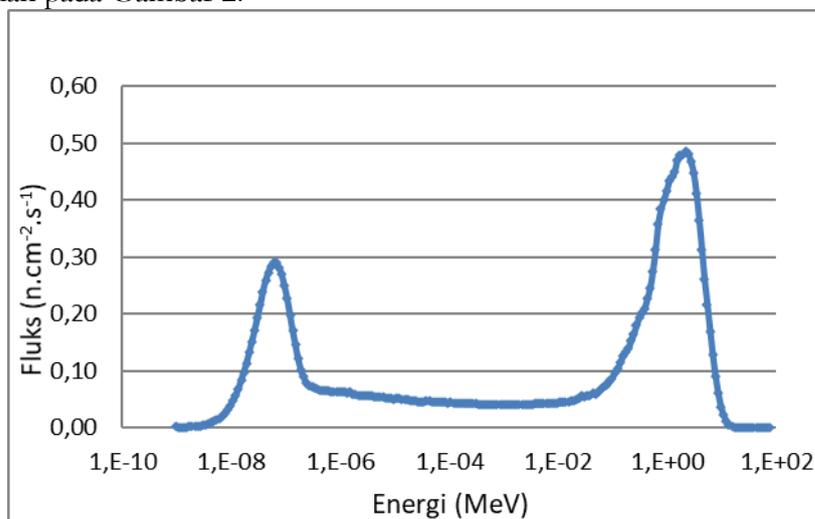
Tabel 2 Hasil pengukuran dengan menggunakan keping Indium yang tercover dengan Cadmium di atas tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy

No. Keping Indium	Aktivitas (Bq)	Fluks Neutron Epitermal (n.cm <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	Laju Dosis Neutron Epitermal (μSv/jam)
Cd_In 1	2,4	9,5	7,2
Cd_In 2	1,9	8,9	6,7
Cd_In 5	2,3	12	9,2

Hasil pengukuran dengan menggunakan keping Indium yang tercover dengan Cadmium ditunjukkan pada Tabel 2. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada titik 5 nilai fluks neutron epitermalnya lebih besar daripada titik yang lain. Besarnya fluks neutron epitermal di titik 5 adalah 12 n.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> dan laju dosis neutron epitermalnya sebesar 9,2μSv/jam. Hal ini disebabkan karena pada titik tersebut berada tepat di atas sambungan antar parafin.

Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa laju dosis neutron epitermal pada masing-masing titik lebih besar dari pada laju dosis neutron termal. Sebelum melakukan tindakan proteksi radiasi, diperlukan spektrum radiasi di tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy. Oleh karena itu, dilakukan pengukuran dengan Bonner Sphere Spectrometer di titik 5, dimana di titik 5 tersebut merupakan area

yang radiasi neutronnya lebih besar berdasarkan hasil dari aktivasi keping Indium dan aktivasi keping Indium yang tercover Cadmium. Pada titik 5 sekitar 80,7% didominasi oleh neutron epitermal. Spektrum yang dihasilkan oleh Bonner Sphere Spectrometer di tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Spektrum radiasi neutron di tunnel reaktor serba guna G. A Siwabessy

Berdasarkan spektrum pada Gambar 2, radiasi neutron yang dominan pada tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy adalah radiasi neutron yang berenergi tinggi. Berdasarkan hasil keping aktivasi, laju dosis radiasi neutron total di titik 5 yaitu sebesar 11,4  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Hasil ini tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran Bonner Sphere Spectrometer. Laju dosis radiasi neutron total berdasarkan hasil pengukuran Bonner Sphere yaitu sebesar 16,3  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ .

## KESIMPULAN

Pengukuran fluks dan laju dosis neutron termal maupun laju dosis neutron epitermal dengan metode aktivasi keping Indium telah dilakukan di atas tunnel reaktor serba guna GA Siwabessy. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fluks dan laju dosis baik neutron termal maupun neutron termal terbesar diperoleh di titik 5 yang merupakan sambungan antar paraffin. Pada titik tersebut diperoleh laju dosis neutron termal sebesar 2,2  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan laju dosis neutron epitermalnya sebesar 9,2  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Hal tersebut menunjukkan 80,7% laju dosis neutron di dominasi neutron epitermal. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran Bonner Sphere yang didominasi oleh neutron epitermal sebesar 74,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode aktivasi keping indium bisa menjadi metode alternatif yang praktis dan murah sebagai acuan atau referensi dalam pertimbangan tindakan proteksi radiasi neutron untuk pihak yang terkait.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ho, E. Obbard, P. A. Burr, and G. Yeoh, "A review on the development of nuclear power reactors," *Energy Procedia*, vol. 160, no. 2018, pp. 459–466, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.02.193.
- [2] T. Surbakti and P. Purwadi, "Analysis of Neutronic Safety Parameters of the Multi-Purpose Reactor–Gerrit Augustinus Siwabessy (RSG-GAS) Research Reactor at Serpong," *J. Penelit. Fis. dan Apl.*, vol. 9, no. 1, p. 78, 2019, doi: 10.26740/jpfa.v9n1.p78-91.
- [3] N. Matsubayashi, H. Tanaka, T. Takata, K. Okazaki, Y. Sakurai, and M. Suzuki, "Development of real-time neutron detectors with different sensitivities to thermal, epithermal, and fast neutrons in BNCT," *Radiat. Meas.*, vol. 140, p. 106489, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.RADMEAS.2020.106489.
- [4] Tjipta, "Penentuan Fluks Neutron Termal di Fasilitas Kalibrasi Neutron dengan Menggunakan Keping Indium," *Omega J. Fis. dan Pendidik. Fis.*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [5] S. Mubarika, M. Munir, K. S. Firdausi, and P. T. M. Batan, "Analisis dan Penentuan Distribusi

- Fluks Neutron Thermal Arah Aksial dan Radial Teras Reaktor Kartini dengan Detektor Swadaya,” vol. 14, no. 3, pp. 155–159, 2006.
- [6] R. G. Abrefah, B. J. B. Nyarko, E. H. K. Akaho, S. Anim Sampong, and R. B. M. Sogbadji, “Axial and radial distribution of thermal and epithermal neutron fluxes in irradiation channels of the Ghana research reactor-1 using foil activation analysis,” *Ann. Nucl. Energy*, vol. 37, no. 8, pp. 1027–1035, 2010, doi: 10.1016/j.anucene.2010.04.017.
- [7] S. H. Giegel, C. L. Pope, and A. E. Craft, “Determination of the neutron energy spectrum of a radial neutron beam at a TRIGA reactor,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. with Mater. Atoms*, vol. 454, no. March, pp. 28–39, 2019, doi: 10.1016/j.nimb.2019.05.072.
- [8] Z. M. Hu *et al.*, “Experimental evaluation of the Geant4-calculated response functions of a Bonner sphere spectrometer on monoenergetic neutron sources,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 965, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.nima.2020.163836.
- [9] A. Pola *et al.*, “Neutron spectrometry of a lightly encapsulated <sup>241</sup> Americium–beryllium neutron source using two different Bonner Sphere Spectrometers,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 927, pp. 371–374, 2019, doi: 10.1016/j.nima.2019.02.070.
- [10] R. Bedogni *et al.*, “An active Bonner sphere spectrometer for intense neutron fields,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 940, pp. 302–306, 2019, doi: 10.1016/j.nima.2019.06.028.
- [11] Z. Hu *et al.*, “Neutron field measurement at the Experimental Advanced Superconducting Tokamak using a Bonner sphere spectrometer,” *Nucl. Instruments Methods Phys. Res. Sect. A Accel. Spectrometers, Detect. Assoc. Equip.*, vol. 895, pp. 100–106, 2018, doi: 10.1016/j.nima.2018.04.010.
- [12] R. Tursinah, B. Bunawas, and J. Kim, “NEUTRON RESPONSE FUNCTION OF BONNER SPHERE SPECTROMETER WITH <sup>6</sup>Li(Eu) DETECTOR,” *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 20, no. 2, p. 65, 2017, doi: 10.17146/gnd.2017.20.2.3319.
- [13] J. A. Benavente-Castillo, M. A. S. Lacerda, A. V. Ferreira, H. M. Dalle, and T. A. Da Silva, “Assessment of the neutron radiation field with activation foils and intermittent irradiations around a PETtrace biomedical cyclotron,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 153, p. 108823, 2019, doi: 10.1016/j.apradiso.2019.108823.