



## **Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers**

*"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"*

17-18 Oktober 2023

Purwokerto

---

**"Tema: 7 (Ilmu–Ilmu Dasar)"**

### **UJI MIKRODOSIMETRI DARI BERKAS NEUTRON *DOUBLE LAYER BAM SHAPING ASSEMBLY* MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO**

**Bilalodin<sup>1</sup>, Aris Haryadi<sup>2</sup>, Seha<sup>3</sup> dan Zufahair<sup>4</sup>**

**<sup>1</sup>Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia**

**<sup>2</sup>Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia**

**<sup>3</sup>Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia**

**<sup>4</sup>Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia**

#### **ABSTRAK**

*Double Layer Beam Shaping Assembly (DLBSA)* adalah sistem pengolah berkas neutron cepat menjadi neutron epitermal. DLBSA telah menghasilkan berkas neutron epitermal sesuai standar IAEA. Namun DLBSA belum dilakukan uji mikrodosimetri guna mengetahui efek dan respon biologi pada tingkat sel. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter mikrodosimetri yaitu *Linear Energy Transfer (LET)* dan *Relative Biological Effectiveness (RBE)*. Uji parameter mikrodosimetri dilakukan menggunakan model mikrosel yang diinteraksikan dengan neutron dari DLBSA. Perhitungan parameter mikrodosimetri dilakukan menggunakan program berbasis monte carlo yaitu *Particle Heavy Ion Transport System (PHITS)*. Hasil uji mikrodosimetri diperoleh nilai LET dari berkas neutron DLBSA sebesar 100 KeV dan nilai RBE 2,56.

Kata kunci: DLBSA, LET, RBE, PHITS

#### **ABSTRACT**

Double Layer Beam Shaping Assembly (DLBSA) is a system for processing fast neutron beams into epithermal neutrons. DLBSA has produced epithermal neutron beams according to IAEA standards. However, DLBSA has not yet been subjected to a microdosimetry test to determine the effects and biological responses at the cellular level. This research aims to determine microdosimetry parameters, namely *Linear Energy Transfer (LET)* and *Relative Biological Effectiveness (RBE)*. Microdosimetry parameter tests were carried out using a microcell model that interacts with neutrons from DLBSA. Microdosimetry parameter calculations were carried out using a Monte Carlo-based program, namely the *Particle Heavy Ion Transport System (PHITS)*. The microdosimetry test results obtained a LET value of 100 KeV and an RBE value of 2.56.

**Keywords:** DLBSA, LET, RBE, PHITS



## **Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers**

*"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"*

17-18 Oktober 2023

Purwokerto

---

### **PENDAHULUAN**

*Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) merupakan metode **terapi** kanker yang telah lama diharapkan menjadi terapi radiasi inovatif yang berpotensi untuk mengobati berbagai jenis kanker. Keberhasilan **terapi BNCT** bergantung pada dua hal, yaitu kemampuan untuk mengkonsentrasikan boron-10 ( $^{10}\text{B}$ ) dalam target sel kanker dan sumber neutron yang mampu menjangkau sel yang telah terdeposisi oleh senyawa boron (Mos et.al, 2014).

Salah satu sumber neutron yang dikembangkan **saat ini** adalah berbasis siklotron 30 MeV. Sumber neutron dihasilkan dari interaksi proton 30 MeV menggunakan target, diantaranya menggunakan berilium. Neutron cepat yang dihasilkan **dan** diolah menggunakan *Beam Shaping Assembly* (BSA). Kualitas BSA sangat tergantung pada konfigurasi (tata letak) komponen-komponennya seperti jenis dan ketebalan material penyusun **komponen-komponen tersebut (Kasesaz, 2014)**.

Salah satu model BSA dikembangkan oleh Bilalodin et.al, 2019 dengan nama *Double Layer Beam Shaping Assembly* (DLBSA). Kualitas berkas neutron yang dihasilkan telah memenuhi standar IAEA agar dapat digunakan untuk terapi BNCT. Uji berkas neutron dari DLBSA telah diujikan pada sel kanker organ kepala, paru-paru, dan tiroid. Simulasi dimaksudkan untuk mengungkap dosis yang diperlukan untuk terapi tumor. Sumber neutron dari DLBSA dapat digunakan untuk terapi tumor kepala, paru-paru, dan tiroid secara efektif. Penyebab efektivitas radiasi neutron dari DLBSA belum diketahui secara pasti (Bilalodin et.al, 2019).

Guna mengungkap efektivitas radiasi neutron yang dihasilkan oleh DLBSA perlu dilakukan penelitian skala mikro atau mikrodosimetri. Menurut Streitmatter et.al (2020) efektivitas radiasi skala mikro ditentukan oleh besaran yang disebut *Linear Energy Transfer* (LET). Semakin tinggi nilai LET semakin efektif mentransfer energi atau mendepositkan energi pada target. Nilai LET tinggi berdampak pada kemampuan merusak organ biologis lebih efektif atau semakin meningkatkan nilai *Relative Biological Effectiveness* (RBE).

Penentuan nilai LET dan RBE dapat dilakukan secara eksperimen dan dapat juga dihitung secara simulasi. Pengungkap nilai LET dan RBE secara simulasi diperlukan model mikrosel dalam phantom air. Disamping itu juga diperlukan software yang mampu mensimulasikan transport partikel yang berinteraksi dalam skala mikro.

Salah satu *software* berbasis *Monte Carlo* adalah *Particle Heavy Ion Transport System* (PHITS). PHITS dapat mensimulasikan jejak partikel yang bergerak secara acak seperti neutron, proton, dan gamma. PHITS juga dapat digunakan untuk memvisualisasikan gerak partikel dan interaksinya dengan materi pada rentang energi rendah sampai energi tinggi (Sato et.al, 2015, Niita, 2015).



## **METODE PENELITIAN**

### **Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika komputasi dan Medik dari bulan April sampai Agustus 2023. Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu, pembuatan model, penyusunan program dan simulasi, dan analisis data

### **Pemodelan phantom dan Sumber Neutron**

#### **Phantom Multiseluler**

Phantom terbuat dari medium air berukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  dan dilengkapi dengan sel-sel kecil yang dinamakan multiseluler. Sel dalam multiseluler berbentuk bola dengan jari-jari membran sel  $r_{\text{cell}} = 5 \text{ }\mu\text{m}$  dan jari-jari inti  $r_{\text{nuc}} = 2,5 \text{ }\mu\text{m}$  (Allen et.al, 2018). Multiseluler ditempatkan didalam phantom air pada kedalaman 1,5 cm dari permukaan phantom. Model phantom air dan model multiseluler dalam phantom air ditunjukkan pada Gambar 1.

#### **Sumber Neutron**

Sumber neutron yang digunakan berasal dari siklotron 30 MeV yang diolah menggunakan sistem *Double Layer Beam Shaping Assembly* (DLBSA). Neutron yang dihasilkan dari DLBSA memiliki karakteristik fluks neutron epitermal sebesar  $1,1 \times 10^9 \text{ n/cm}^2.\text{s}$ , perbandingan fluks neutron epitermal dan fluks neutron termal sebesar 344, perbandingan fluks neutron epitermal dan fluks neutron cepat sebesar 85, perbandingan laju dosis neutron cepat dan fluks epitermal sebesar  $1,09 \times 10^{-13} \text{ Gy.cm}^2$ , dan perbandingan laju dosis gamma dan fluks neutron epitermal sebesar  $1,82 \times 10^{-13} \text{ Gy.cm}^2$  (Bilalodin, et al, 2019, ).

#### **Penyusunan Program dan Simulasi**

Input program *Particle Heavy Ion Transport System* (PHITS) dibuat dalam software notepad++. Program dibuat mengikuti aturan PHITS dengan mendefinisikan parameter, *source, materia,l cell, surface, dan tally*. Parameter dirancang dengan jumlah partikel sebesar 1 juta dan pengulangan sebanyak 1.000 kali. Sumber yang digunakan berasal dari DLBSA berbasis siklotron 30 MeV. Sumber radiasi diarahkan pada phantom air yang berisi multiseluler dengan jarak dari DLBSA sejauh 2 cm. Visualisasi mikroseluler dan jejak partikel neutron yang mengenai mikroseluler direcord menggunakan *tally* T-TRACK. dan nilai *Linear Energy Transfer* menggunakan Tally LET (T-LET). Sedangkan respon biologi menggunakan persamaan (Nick et al., 2019).

$$RBE = \int_0^{\infty} r(y)yf(y)dy. \quad (1)$$

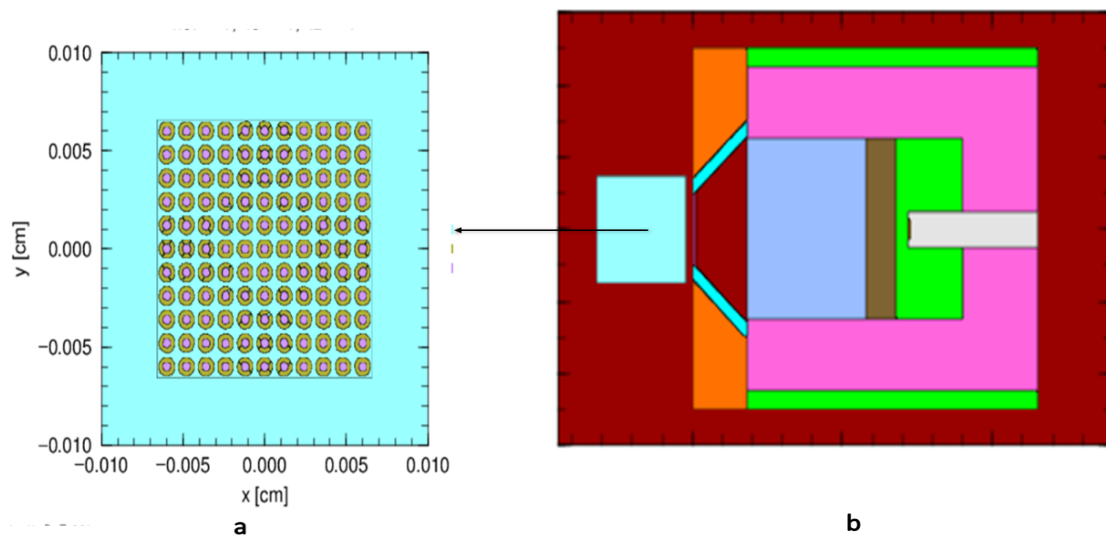
Dengan  $yf(y)$  diperoleh dari nilai liner energy transfer dan  $r(y)$  diperoleh berdasarkan persamaan

$$r(y) = 2,5 + 18,2 e^{-[\ln(E_n)]^2/6} \quad (2)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Model Multiseluler dan Sumber Neutron

Visualisasi model *Double Layer Beam Shaping Assembly* (DLBSA) dan mikrosel telah dilakukan menggunakan program PHITS. Komponen utama DLBSA yang dimodelkan terdiri atas moderator, reflektor, filter, dan kolimator yang masing-masing komponennya tersusun dengan konfigurasi *double layer*. Model phantom air berukuran  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$  dan dilengkapi dengan sel-sel kecil yang dinamakan multiseluler. Hasil pemodelan DLBSA dan mikroseluler didalam phantom air ditunjukkan pada Gambar 2.

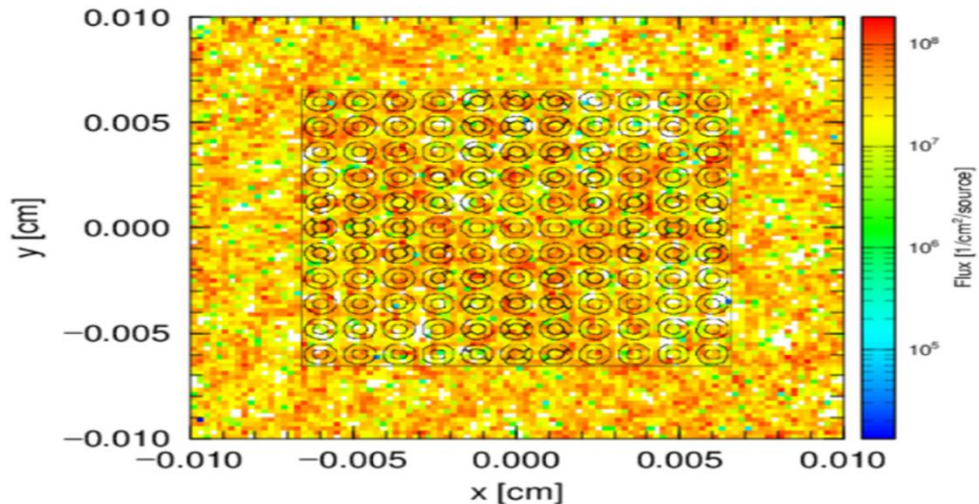


**Gambar 2.** a) Mikrosel didalam phantom air, b) Phantom air dan DLBSA

Hasil visualisasi mikrosel menggunakan program PHITS berbentuk bola dengan inti sel (berwarna ungu) berukuran  $2,5 \text{ }\mu\text{m}$  dan membran sel (berwarna hijau) berukuran  $5 \text{ }\mu\text{m}$ , inti sel dan membran sel berisi air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Pendekatan air sebagai penyusun sel karena tubuh mengandung 80% air.

### Iradiasi neutron pada multiseluler

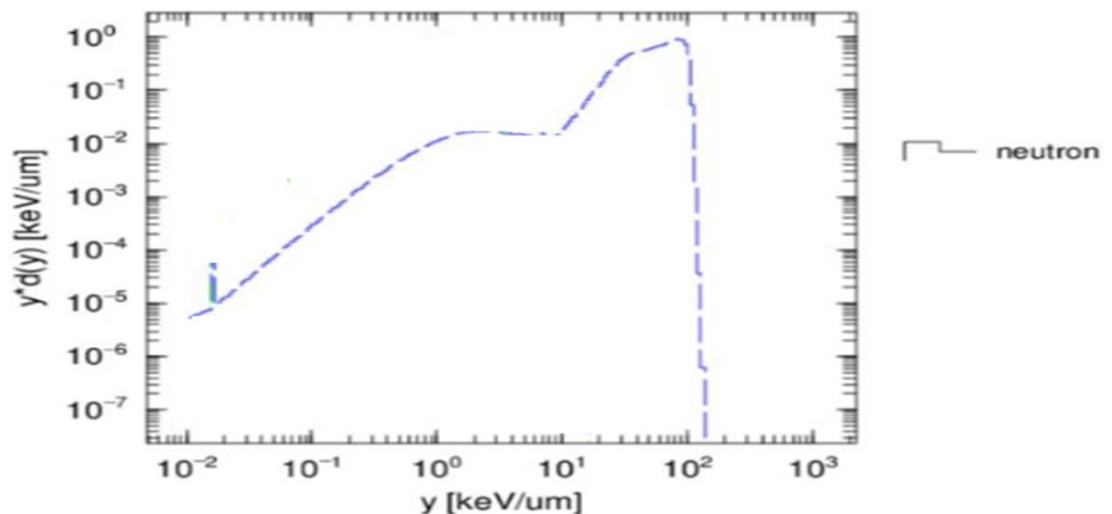
Hasil simulasi interaksi partikel neutron dengan mikroseluler dinyatakan dengan warna. Fluks neutron tertinggi dinyatakan dengan warna merah, dan terendah dengan warna biru. Berdasarkan Gambar 3 terlihat interaksi neutron dengan mikroseluler terjadi secara acak. Neutron dari DLBSA ada yang diteruskan, dihamburkan, dipantulkan, dan diserap. Hamburan dan serapan terjadi paling dominan. Hasil sesuai pendapat Andeson et al., (2016) yang menyatakan bahwa interaksi neutron dengan materi terjadi melalui hamburan, serapan dan reaksi lainnya. Secara umum neutron dari DLBSA telah berinteraksi dengan mikroseluler dengan intensitas yang beda beda.



Gambar 3. Visualisasi interaksi neutron dengan mikroseluler

### Linear Energy Transfer (LET)

*Linear Energi Transfer* (LET) merupakan jumlah energi rata-rata energi yang ditransfer pada medium yang dilalui oleh partikel sumber radiasi per satuan panjang. Hasil perhitungan nilai LET dari interaksi neutron dengan mikroseluler diperlihatkan pada Gambar 4. LET yang dihasilkan dari interaksi neutron dengan mikrosel memiliki jangkauan  $10^{-2}$  sampai  $10^2$  KeV (Murshed, 2019). Variasi nilai LET disebabkan karena adanya sumber neutron epitermal yang dihasilkan DLBSA juga bervariasi, yaitu  $10^{-3}$  MeV sampai  $10^{-1}$  MeV.



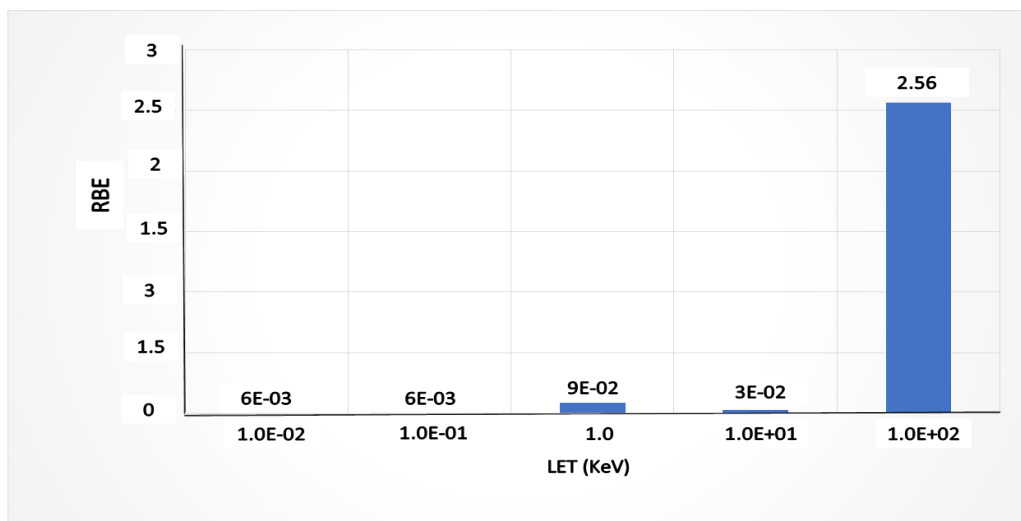
Gambar 4. 6 Grafik distribusi LET pada mikroseluler



Hasil penelitian sesuai dengan penelitian yang dilakukan Hu et.al. (2019) yang menyatakan distribusi mikrodosimetri neutron pada rentang energi epitermal dan neutron cepat memiliki nilai LET pada rentang energi antara 10 sampai dengan 100 KeV.

### **Relative Biological Effectiveness (RBE)**

Relative Biological Effectiveness (RBE) merupakan respon biologis terhadap radiasi. RBE merupakan parameter penting untuk mengevaluasi kualitas radiasi (Tilikidis et al., 1996). Hasil perhitungan nilai menggunakan persamaan (1) ditunjukkan pada Gambar 4.5



**Gambar 4.** Hasil perhitungan RBE pada rentang energi  $10^{-2}$  - $10^2$  KeV

Hasil perhitungan nilai RBE dari energi  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$ ,  $10^0$ ,  $10^1$ , dan  $10^2$  KeV diperoleh nilai RBE berturut-turut 0.006, 0.006, 0.085, 0.031, 2,56. Nilai RBE tertinggi diperoleh pada nilai LET  $10^2$  KeV. Berdasarkan data terlihat semakin besar nilai LET semakin besar nilai RBE. Hasil penentuan nilai LET lebih tinggi diperoleh nilai lebih besar dari hasil penelitian Hu et.al. (2019) yang menyatakan bahwa *Linear Energy Transfer* antara 25 sampai dengan 100 KeV/um menghasilkan nilai RBE 1.31.

### **KESIMPULAN**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan telah berhasil disimulasikan model mikroseluler didalam phantom air menggunakan program PHITS. Mikroseluler berbentuk bola dengan jari-jari inti sel 2,5 um dan jari-jari membran sel 5 um. Interaksi neutron dari DLBSA dengan mikrosel terjadi melalui mekanisme transmisi hamburan, serapan. Hasil perhitungan *Linear Energy Transfer* diperoleh nilai LET terendah  $10^{-3}$  dan tertinggi  $10^{-1}$  KeV/um. Nilai *Linear Energy Transfer* yang dihasilkan interaksi neutron dengan mikroseluler memiliki nilai yang bervariasi. Hasil perhitungan nilai RBE pada LET 100 KeV diperoleh nilai RBE sebesar 2,56.

### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Unsoed atas pembiayaan penelitian ini melalui



## **Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers**

*"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"*

17-18 Oktober 2023

Purwokerto

---

Hibah Penelitian Riset Dasar tahun 2023.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Allen, CH., Kumar, A., Qutob, S., Nyiri, B., Chauchan, V., dan Murugkar, S. (2018). *Raman micro-spectroscopy analysis of human lens epithelial cells exposed to a low dose range of ionizing radiation*. . *Physics in Medicine & Biology*, 6, 1-21.

Anderson, I. S., Andreani, C., Carpenter, J. M., Festa, G., Gorini, G., Loong, C. K., & Senesi, R. (2016). Research opportunities with compact accelerator-driven neutron sources. *Physics Reports*, 654, 1-58.

Bilalodin, Suparta, G. B., Hermanto, A., Palupi, D. S., and Y. Sardjono. 2019. Optimization and analysis of neutron distribution on 30 MeV cyclotron-based double layer Beam Shaping Assembly (DLBSA). *Nuclear Physics and Atomic Energy* 20: 70-75.

Kasesaz, Y., Khalafi, H., & Rahmani, F. (2014). Design of an epithermal neutron beam for BNCT in thermal column of Tehran research reactor. *Annals of Nuclear Energy*, 68, 234-238.

Moss, R. 2015. Critical Review With an Optimistic Outlook on Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). *Applied Radiation and Isotopes* 88: 2-11.

Murshed, H. (2019). *Fundamentals of radiation oncology (Third edition)*. Hal-59. USA: Elsevier Inc.

Hu, H. Tanaka, T. Takata, K. Okazaki, R. Uchida, and Y. Sakurai. (2019). *Microdosimetric quantities of an accelerator-based neutron source used for boron neutron capture therapy measured using a gas-filled proportional counter*. *Jurnal of Radiation Research*.

Nick, C. (2019). *What is Radiation Weighting Factor – Definition*. *Journal of Radiation Dosimetry*

Niita, K, Tatsuhiko S, Yosuke I, Shintaro H, Tatsuhiko O, Takuya F, Shinichiro A, Takeshi K, Norihiro M, Hiroshi I, Hiroshi N, Tokio F, Keisuke O, Tetsuya K, Satoshi C, dan Lembit S. (2015). *User's Manual PHITS Ver.2.81*. Jepang: JAEA.

Sato, T., Y. Iwamoto, S. Hashimoto, T. Ogawa, T. Furuta, S.I. Abe, and K. Niita. 2018. Features of particle and heavy ion transport code system (PHITS) version 3.02. *Journal of Nuclear Science and Technology* 55(6): 684-690.

Streitmatter, S. W., Stewart, R. D., Moffitt, G., & Jevremovic, T. (2020). Mechanistic modeling of the relative biological effectiveness of boron neutron capture therapy. *Cells*, 9(10), 2302.

Tilikidis, A., et al. "An estimation of the relative biological effectiveness of 50 MV



***Prosiding Seminar Nasional dan Call for Papers***

*"Pengembangan Sumber Daya Perdesaan dan Kearifan Lokal Berkelanjutan XIII"*

*17-18 Oktober 2023*

*Purwokerto*

---

bremstrahlung beams by microdosimetric techniques." *Physics in Medicine & Biology* 41.1 (1996): 55.