



# Seminar Keselamatan Nuklir 2015

## Makalah Penyaji

### Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding  
Seminar  
Keselamatan  
Nuklir  
2015

## DOSIMETRI BNCT PADA JARINGAN LUNAK DAN JARINGAN KERAS

Octaviana Erawati F<sup>1</sup>, Riyatun<sup>1</sup>, Suharyana<sup>1</sup>, dan Azizul Khakim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup> Pusat Pengkajian Sistem dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

octavianaerfa@gmail.com

### ABSTRAK

DOSIMETRI BNCT PADA JARINGAN LUNAK DAN JARINGAN KERAS. Simulasi iradiasi berkas neutron pada jaringan lunak dan jaringan keras telah dilakukan. Berkas neutron yang digunakan memiliki  $\phi_{epithermal}$  sebesar  $1,03 \times 10^8$  n.cm<sup>2</sup>/s,  $\dot{D}_f / \phi_{epithermal}$  sebesar  $5,94 \times 10^{-12}$  Gy.cm<sup>2</sup>/n,  $\dot{D}_r / \phi_{epithermal}$  sebesar  $3,79 \times 10^{-12}$  Gy.cm<sup>2</sup>/n,  $J / \phi_{epithermal}$  sebesar 3,13 dan  $\phi_{thermal} / \phi_{epithermal}$  sebesar 0,00. Berkas neutron tersebut secara kuantitas dan kualitas tidak sepenuhnya memenuhi kriteria IAEA. Berkas neutron tersebut kemudian digunakan untuk mengiradiasi jaringan lunak dan jaringan keras mencapai pada kedalaman 13 cm. Hasil iradiasi tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan  $\phi_{epithermal}$  dan  $\phi_{cepat}$  dan adanya peningkatan  $\phi_{thermal}$  untuk kedua jenis jaringan.  $\phi_{thermal}$  mencapai maksimum pada kedalaman 2,00 cm dari permukaan jaringan keras dan 7,00 cm dari permukaan jaringan lunak.  $\dot{D}_r$  mencapai maksimum masing-masing sebesar  $6,82 \times 10^{-4}$  Gy untuk jaringan lunak dan sebesar  $5,47 \times 10^{-4}$  Gy untuk jaringan keras. Hal ini menunjukkan bahwa berkas neutron yang secara kuantitas maupun kualitas belum memenuhi kriteria IAEA secara teori mampu untuk menghasilkan reaksi BNCT pada kedalaman 2-7 cm dari jaringan tubuh manusia, dengan kontaminasi radiasi gamma yang cukup kecil.

**Kata Kunci :** BNCT, berkas neutron, IAEA, Jaringan lunak, Jaringan Keras

### ABSTRACT

*BNCT DOSIMETRY SIMULATION IN SOFT TISSUE AND SKELETAL TISSUE. This article presents the result of irradiation in soft tissue and skeletal tissue. Irradiation performs in simulation with MCNP5. Neutron beam which is used to irradiate has  $\phi_{epithermal}$  amount  $1,03 \times 10^8$  n.cm<sup>2</sup>/s,  $\dot{D}_f / \phi_{epithermal}$  amount  $5,94 \times 10^{-12}$  Gy.cm<sup>2</sup>/n,  $\dot{D}_r / \phi_{epithermal}$  amount  $3,79 \times 10^{-12}$  Gy.cm<sup>2</sup>/n,  $J / \phi_{epithermal}$  amount 3,13 and  $\phi_{thermal} / \phi_{epithermal}$  amount 0,00. In quantity and quality, neutron beam does not fully qualify the criteria of IAEA. It is then used to irradiate soft tissue and skeletal tissue at the depth 13 cm. The irradiation result show that there is decline at  $\phi_{epithermal}$  and  $\phi_{fast}$  and an increase the  $\phi_{thermal}$  in both tissue.  $\phi_{thermal}$  reaches a maximum at the depth of 2,00 cm from the surface of the skeletal tissue and 7,00 cm from the surface of the soft tissue.  $\dot{D}_r$  reaches a maximum amount at  $6,82 \times 10^{-4}$  Gy in soft tissue and  $5,47 \times 10^{-4}$  Gy in skeletal tissue. It shows that the neutron beam in quantity and quality does not qualify the criteria of IAEA, theoretically it can generate BNCT reaction in soft tissue and skeletal tissue at the depth of 2,00 – 7,00 cm, with contamination of small gamma radiation.*

**Key Word :** BNCT, Neutron beam, IAEA, soft tissue, skeletal tissue.

## 1. PENDAHULUAN

Metode pengobatan kanker terus mengalami perkembangan. Salah satunya adalah dibidang radioterapi, yang memanfaatkan energi radiasi untuk membunuh sel kanker. Radiasi dapat menyebabkan kerusakan, kematian bahkan perubahan sifat sel akibat rusaknya ikatan dalam struktur DNA [1]. Prinsip keamanan radioterapi sama seperti metode terapi yang lain, yaitu memaksimalkan kerusakan pada jaringan sel kanker dan meminimalkan efek negatif pada sel normal, oleh karena itu radioterapi memiliki acuan dosis tertentu. Kematian sel atau perubahan pada sel, bergantung pada dosis radiasi yang diterapkan [2,3].

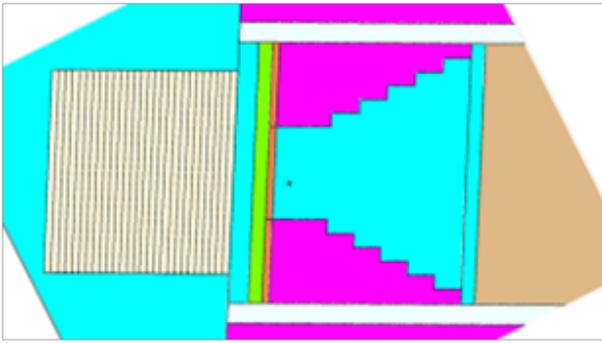
Salah satu teknik terapi yang saat ini sedang dikembangkan adalah Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). BNCT merupakan teknik terapi yang memanfaatkan interaksi tangkapan neutron termal oleh inti <sup>10</sup>B yang akan menghasilkan partikel- $\alpha$  dan inti hasil <sup>7</sup>Li melalui reaksi <sup>10</sup>B(n, $\alpha$ )<sup>7</sup>Li [4-6]. Energi partikel- $\alpha$  inilah yang dimanfaatkan untuk merusak sel kanker dalam jaringan tubuh. Jangkauan/range partikel- $\alpha$  sangat pendek seukuran dimensi sel, sehingga efek radiasi dapat difokuskan pada sel kanker dan mengurangi efek negatif sel sehat [7]. Berkas neutron yang

digunakan dalam teknik terapi ini memiliki kriteria khusus yang telah ditetapkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA).

Penyediaan berkas neutron yang harus memenuhi kriteria IAEA merupakan bagian tersulit dalam teknik terapi ini, beberapa penelitian secara simulasi telah dilakukan, akan tetapi tidak sepenuhnya mampu memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh IAEA. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Kasesaz dan Shaaban yang masing-masing menggunakan sumber neutron dari Tehran Research Reactor (TRR) dan Miniatur Neutron Source Reactor (MNSR) menyebutkan bahwa fluks neutron epitermal yang dicapai masih berada pada rentang orde  $10^8$  n.cm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> [8,9].

Di Indonesia sendiri, satu-satunya instansi yang mengembangkan teknik terapi BNCT adalah BATAN Yogyakarta. Reaktor Kartini yang ada di instansi ini ingin dimanfaatkan sebagai sumber neutron untuk teknik BNCT. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dari keempat beamport reaktor Kartini yang ideal untuk dimanfaatkan dalam keperluan BNCT adalah Radial Piercing Beamport (RPB) [10]. Pada penelitian tersebut, secara simulasi menunjukkan bahwa fluks neutron total adalah sebesar  $5,38 \times 10^8$  n.cm<sup>2</sup> n/s dengan 39.03% neutron thermal 16.35% neutron epithermal dan 44.61% neutron cepat [10]. Beberapa





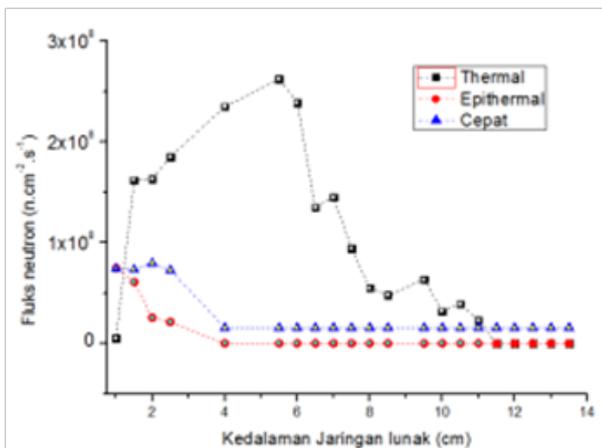
**Gambar 3:** Hasil modifikasi dengan penambahan jaringan lunak/jaringan keras

Pada penelitian ini digunakan tally F4:N dan F4:P untuk memperoleh fluks neutron rata-rata yang melewati suatu volume geometri yang ditentukan dan dosis gamma pada jaringan lunak dan jaringan keras. Faktor normalisasi untuk neutron sebesar  $7,553 \times 10^{-15}$  n/s digunakan sebagai faktor konversi daya operasi reaktor (100kW) sedangkan faktor normalisasi untuk gamma adalah  $3,121 \times 10^{-15}$   $\gamma$ /s.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

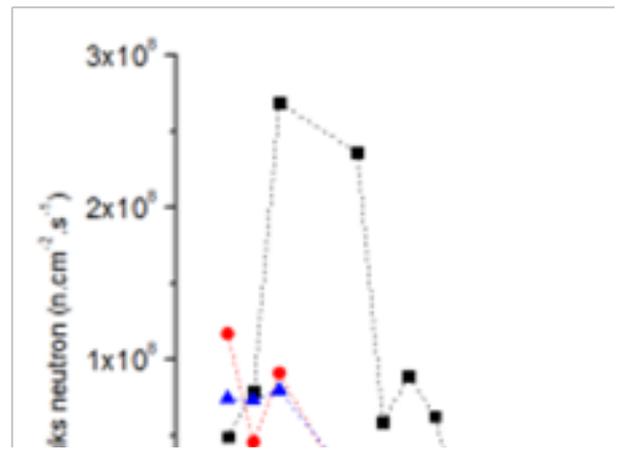
Uji coba secara simulasi dilakukan kepada jaringan lunak dan jaringan keras untuk mengetahui sejauh mana berkas neutron mampu terdistribusi kedalam jaringan tubuh.

**Gambar 4** menunjukkan hasil simulasi pada jaringan lunak. Dari gambar tersebut terlihat bahwa fluks neutron thermal maksimum sebesar  $1,45 \times 10^8$  n.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> berada pada kedalaman 7,00 cm dari permukaan jaringan yang kemudian mengalami penurunan secara eksponensial. Sedangkan untuk fluks neutron cepat dan epithermal telah mengalami penurunan dari kedalaman 2-4 cm.



**Gambar 4:** Fluks neutron sebagai fungsi kedalaman Jaringan lunak.

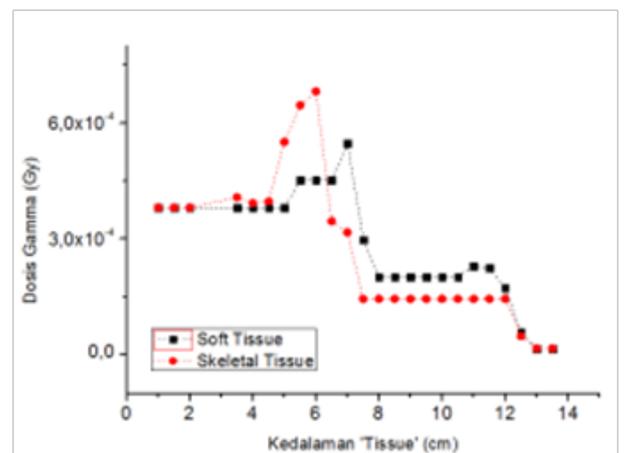
**Gambar 5** merupakan representasi hasil simulasi pada jaringan keras. Terdapat perbedaan antara jaringan lunak dan jaringan keras. Fluks neutron thermal mencapai kondisi maksimum yaitu sebesar  $7,46 \times 10^7$  n.cm<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> hanya pada kedalaman 2,00 cm dari permukaan jaringan keras. Dengan fluks neutron cepat dan epithermalnya hanya pada rentang kedalaman 1,5-3,5 cm dari permukaan jaringan keras.



**Gambar 5:** Fluks neutron sebagai fungsi kedalaman jaringan keras.

Hasil ini menunjukkan bahwa jaringan keras menurunkan fluks neutron thermal lebih cepat dibandingkan dengan jaringan lunak dikarenakan densitas dari jaringan keras lebih besar dari jaringan lunak. Kenaikkan fluks neutron thermal pada kedua jaringan tersebut dapat diakibatkan oleh penurunan energi dari neutron berenergi epithermal dan cepat akibat bertumbuhkannya neutron dengan atom-atom penyusun jaringan.

**Gambar 6** menyajikan dosis gamma di dalam jaringan lunak dan jaringan keras. Untuk dosis gamma pada jaringan keras mencapai nilai maksimum sebesar  $6,82 \times 10^{-4}$  Gy pada kedalaman 6,00 cm dan untuk jaringan lunak mencapai nilai maksimum sebesar  $5,47 \times 10^{-4}$  Gy pada kedalaman 7,00 cm. Baik pada jaringan lunak maupun jaringan keras keduanya mengalami penurunan dosis yang signifikan setelah mencapai titik maksimumnya, bisa dikatakan bahwa trend yang dimiliki keduanya adalah identik. Dosis gamma yang terdistribusi di dalam model jaringan tubuh tersebut, untuk keperluan terapi dirasa masih dapat ditoleransi karena masih di bawah batas dosis yangizinkan yaitu dari 1-100Gy.



**Gambar 6:** Dosis gamma pada Jaringan lunak dan jaringan keras

Hasil ini menunjukkan bahwa berkas neutron yang secara kuantitas maupun kualitas belum sepenuhnya memenuhi kriteria IAEA secara teori mampu untuk menghasilkan reaksi BNCT pada kedalaman 2-7 cm dari jaringan tubuh manusia, dengan kontaminasi radiasi gamma yang cukup kecil.

#### 5. KESIMPULAN

Meskipun berkas neutron yang digunakan untuk mengiradiasi jaringan lunak dan jaringan keras belum sepenuhnya memenuhi

kriteria IAEA, akan tetapi secara teori berkas tersebut mampu menghasilkan reaksi BNCT pada rentang kedalaman 2,00 cm-7,00 cm dari permukaan tubuh. Kontaminasi gamma dari hasil reaksi yang ditimbulkan juga masih di bawah ambang toleransi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Susworo, Hutagalung, E. U., Diligo, I. H., & Kamal, A. F.** (2013, Mei). Dasar-Dasar Radiasi: Mekanisme Radiasi dan Pengaruhnya terhadap DNA serta Jaringan Tulang. Indonesian Journal of Cancer, 7, 73-78.
- [2] **Susworo.** (2007). Radioterapi dasar-dasar radioterapi tata laksana radioterapi. Jakarta: UI-Press.
- [3] **Lusiyanti, Y., & Syaifudin, M.** (2008). Penerapan efek interaksi radiasi dengan. JFN, 2, 1-12.
- [4] **Auterinen, I., Seren, T., Anttila, K., Kosunen, A., & Savolainen, S.** (2004). Measurement of free beam neutron spectra at eight BNCT facilities worldwid. Appl.Radiat.Isot, 61, 1021-1026.
- [5] **Durisi, E.** (2005). Study of a D-D Compact Neutron Generator for BNCT. Thesis. Argentina: Torino University.
- [6] **Bosko, A.** (2005). General Electric Pettrace Cyclotron as a Neutron Source for Boron Neutron Capture Therapy. Thesis. USA: Texas University.
- [7] **IAEA.** (2001). Current Status of Neutron Capture Therapy. Viena: IAEA, ISSN 1011-4289.
- [8] **Kasesaz, Y., Khalafi, H., & Rahmani, F.** (2014). Design of an epidermal neutron beam for BNCT in termal column of Tehran research reactor. Annals of Nuclear Energy, 234-238.
- [9] **Shaaban, I., & Albarhoum, M.** (2015). Design calculation of an epidermal neutronic beam for BNCT neutronic beam for BNCT. Progress in Nuclear Energy, 297-302.
- [10] **[10]Fadli, O. E., Suharyana, & Riyatun.** (2015). Simulasi Numerik Spektrum Neutron pada Empat Beamport Reaktor Kartini dengan MCNP5 Guna Pemanfaatannya sebagai Saluran Pemandu Berkas Neutron pada BNCT. Pertemuan Ilmiah XXIX HFI. Yogyakarta: Prosiding HFI.
- [11] **Fadli, O. E.** (2015). Modifikasi Radial Piercing Beamport (RPB) Reaktor Kartini sebagai Uji Coba Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) pada Jaringan Lunak dan Jaringan Keras dengan Metode Simulasi. Universitas Sebelas Maret, MIPA, Jurusan Fisika. Surakarta: Universitas Sebelas Maret Press.
- [12] **Wahyuningsih, D.** (2014). Optimasi Desain Kolimator Untuk Uji In Vivo Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) pada Beamport Tembus Reaktor Kartini menggunakan Simulasi MCNP5. Thesis. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- [13] **Muhammad, I.** (2013). Perancangan kolimator di beamport tembus reaktor Kartini untuk boron neutron capture terapi. Skripsi. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada
- [14] **Barth, R. F., Coderre, J. A., Vicente, M. G., & Blue, T. E.** (2005). Boron neutron capture therapy of cancer: current status and future prospect. Clinical Cancer Research, 11, 3987-4002.
- [15] **Sauerwein, W., Wittig, A., Moss, R., dan Nakagawa, Y., 2012, Neutron Capture Therapy, Springer, New York.**

## TANYA JAWAB

### 1. Penanya : Nazaroh

#### Pertanyaan:

- a) Apakah BNCT sudah mendapatkan izin dari Bapeten untuk pengkuran outputnya seperti ghalnya pesawat terapi lainnya: LINAC, Pesawat Co<sup>60</sup>, Cs, dll BNCT n + B 10Li + +
- b) Apakah ada pengaruhnya (( terhadap head + neckcancer?
- c) Ukuran cancer berbeda-beda, ada yang kecil s/d besar tentunya sangat berpengaruh dengan dosis yang diberikan. Bagaimana pengaruh terhadap cancer tersebut?

#### Jawaban:

- a) Kami tidak bisa memberikan jawaban, tetapi sejauh yang kami ytau ada kinsorsium BNCT yang mencoba mendapataka izin untukk BNCT
- b) Tentunya ada pengaruh dari 10Li dan apalagi gamma dapat menyebabkan ionisasi langsung yang bisa memicu munculnya radikal bebas, begitu pula 10Li.
- c) Oleh karena itu dari penelitian tadi maka menjadi catatan tersendiri bagi kami yaitu mungkin akan lebih flexibel jika terdapat suatu jaringan lunak/keras/tubuh tiruan. Juga

dapat digunakan sebagai shield agar berkas tidak langsung mengenai tubuh pasien.

### 2. Penanya : Mukhlisin

#### Pertanyaan:

- a) Apakah nilai density jaringan lunak (1,04 gr/cc) dan jaringan keras (1,48 gr/cc) sudah mempresentasikan organ manusia?
- b) Dosis gamma BNC7 sebesar  $4 \times 10^{-4}$  gr/cc, apakah sudah sesuai rekomendasi IAEA?

#### Jawaban:

- a) Kami mengambil definisi jaringan lunak dan jaringan keras dr MIRDORNL.
- b) Yang belum sepenuhnya memenuhi kriteria IAEA adalah berkas neutron yang dihasilkan oleh RPB yang termodifikasi yaitu dengan adanya tambahan pemandu berkas neutron. Akan tetapi pada penelitian kami, memang sengaja mengiradiasi jaringan lunak dan jaringan keras dengan berkas tsb untuk menunjukkan penetrasi neutron pada kedua jaringan.