

## ANALISIS DOSIS PADA KANKER PAYUDARA DENGAN BNCT MENGGUNAKAN MCNPX DENGAN SUMBER NEUTRON GENERATOR

### *DOSE ANALYSIS IN BREAST CANCER WITH BNCT USING MCNPX BY NEUTRON GENERATOR AS THE NEUTRON SOURCE*

Oleh: Rawi Pramusinta dan Prof. Ir. Y. Sardjono, APU dan Dr. Yosapat Sumardi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta, Email : [rawi.sinta@gmail.com](mailto:rawi.sinta@gmail.com)

#### **Abstrak**

Kanker payudara merupakan kanker yang banyak dialami oleh wanita Indonesia sebesar 21,4%. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui konsentrasi boron dan lama waktu iradiasi yang optimal untuk pengobatan kanker payudara dengan metode BNCT. Penelitian ini dilakukan menggunakan simulasi MCNPX dengan keluaran berupa fluks neutron, dosis hamburan neutron dan dosis gamma. Sumber neutron yang digunakan adalah model BSA D-D neutron generator. Hasil penelitian menunjukkan pada jangkauan 70-150  $\mu\text{g/g}$ , laju dosis yang diterima oleh kanker meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi boron-10. Jika laju dosis meningkat, maka waktu iradiasi yang dibutuhkan semakin cepat. Konsentrasi boron yang optimal adalah 150  $\mu\text{g/g}$  dengan waktu iradiasi 249,08 menit.

Kata kunci: dosis boron, BNCT, kanker payudara, MCNPX, neutron generator

#### **Abstract**

*Breast cancer is the most cancer that diagnosed for woman in Indonesia with about 21.4%. The purpose of this study is to know the concentration of boron and irradiation times which is optimum for the treatment of breast cancer with the method BNCT method. This research was conducted by using MCNPX simulation which the output are flux neutron, neutron scattering dose and gamma dose. The Neutron sources was the BSA D-D Neutron generator. The results showed in the range of 70-150  $\mu\text{g/g}$ , the dose rate received by cancer increases with the increasing concentration of boron-10. If the dose rate is increased, the irradiation time interval will be faster. The Optimum concentration of boron is 150  $\mu\text{g/g}$  with irradiation time was 249,08 minutes*

*Keywords: Boron dose BNCT, Breast Cancer, MCNPX, Neutron Generator*

#### **PENDAHULUAN**

Kanker adalah pertumbuhan sel/ jaringan yang tidak terkendali, terus bertumbuh/ bertambah, *immortal* (tidak dapat mati). Menurut Riset Kementerian Dasar (Riskesdas) Tahun 2013, kanker penyebab kematian utama kedua yang memberikan kontribusi 13% kematian dari 22% kematian akibat penyakit tidak menular utama di dunia (Oemita *et al*, 2011).

Saat ini ada beberapa metode atau cara pengobatan kanker yang sudah ditemukan dan digunakan seperti metode radioterapi, metode pengambilan kanker atau operasi dan metode

kemoterapi. Setiap metode ini memiliki resiko tersendiri. Misalnya, metode operasi dengan efek pendarahan dan lambatnya pemulihan akibat operasi sehingga mengganggu aktivitas pasien. Namun masing-masing metode tersebut mempunyai keterbatasan dan kelemahan, sehingga dalam melakukan penanganan kanker tidak hanya melibatkan satu metode pengobatan.

Kombinasi beberapa terapi pengobatan bertujuan untuk menekan efek samping tersebut sekaligus meningkatkan efektivitas terapi agar diperoleh hasil yang maksimal. Salah satu bagian radioterapi yang potensial

untuk dikembangkan adalah *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT).

BNCT adalah teknik terapi yang didesain untuk meradiasi volume target hingga pada tingkatan sel secara selektif menggunakan partikel bermuatan dengan *Linear Energy Transfer* (LET) yang tinggi.

Teknik ini memanfaatkan nuklida non-radioaktif  $^{10}\text{B}$  untuk menangkap neutron melalui reaksi  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ . Hasil reaksi ini mempunyai karakteristik LET yang tinggi (partikel  $\alpha$  mendekati  $150\text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$  dan  $^7\text{Li}$  mendekati  $175\text{ keV}\mu\text{m}^{-1}$ ). Jangkauan partikel ini berada pada jarak  $4,5\ \mu\text{m}$  sampai  $10\ \mu\text{m}$ , sehingga energi terdepositasi terbatas dalam sel tunggal dengan diameter sel  $18\pm 2\ \mu\text{m}$  (Wolfgang, 2009).

Pada penelitian ini digunakan *software* untuk mensimulasikan interaksi sumber dengan organ, yaitu menggunakan program MCNPX.

MCNP/ MCNPX adalah salah satu tujuan umum kode Monte Carlo untuk simulasi transportasi radiasi yang dikembangkan dan dimiliki oleh Los Alamos National Laboratory.

Rentang energi neutron yang mampu dihitung MCNP adalah antara  $10^{-11}$  MeV hingga 20 MeV untuk semua isotop dan lebih dari 150 MeV untuk beberapa isotop. Untuk rentang energi foton yang mampu dihitung adalah antara 1 KeV hingga 1 GeV. Perangkat lunak ini dilengkapi kemampuan untuk menghitung  $k_{eff}$  sebagai fitur standarnya (Thomas, 2003).

Kolimator yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Beam Shaping Assembly* (BSA) dengan sumber *Neutron Generator* (NG). BSA ini berfungsi untuk mengarahkan pulsa neutron cepat dari NG ke pasien menjadi neutron epitermal. Cara kerja BSA ini adalah dengan menangkap keluaran dari Neutron Generator yang kemudian dimoderasi oleh  $\text{MgF}_2$  dan  $\text{AlF}_3$ , neutron epitermal yang melewati moderator dibatasi oleh Pb dan parafin sebagai reflektor agar neutron tidak kehilangan berkas.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2014 s.d September 2016. Penelitian ini dilaksanakan di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir

Nasional yang beralamat di Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta.

### Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu mempersiapkan data dan materi studi pustaka, membuat geometri kanker dan jaringan sehat yang diletakkan di depan BSA, dan mencari volume pada setiap sel yang ada. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam mengamati sebaran fluks yang terdapat pada setiap sel. Kemudian langkah berikutnya adalah menghitung fraksi atom yang akan digunakan dalam *data card* pada MCNPX dengan variasi dosis dalam rentang 70-150  $\mu\text{g/g}$ . Langkah selanjutnya adalah menjalankan program pada masing-masing konsentrasi boron. Hasil keluaran dari MCNPX dianalisis untuk menghitung dosis radiasi dan waktu yang dibutuhkan untuk iradiasi. Langkah terakhir adalah membahas dan mengambil kesimpulan.

### Teknik Analisis Data

Penentuan konsentrasi boron yang optimal didapatkan dari menghitung laju dosis yang kemudian digunakan untuk menghitung waktu iradiasi. Laju dosis yang berasal dari interaksi boron dan nitrogen dengan neutron termal harus diketahui lebih dahulu jumlah atom tiap 1 kg jaringan dengan persamaan:

$$N = \frac{\left(\frac{m}{\text{Ar}} \times 6,023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}\right)}{M} \quad (1)$$

dengan,

N : jumlah atom tiap 1 kg jaringan, atom/kg

m : massa atom, g

Ar : massa atom, g/mol

M : massa jaringan, kg

Kemudian laju dosis dari interaksi tersebut didapatkan dari persamaan:

$$\dot{D} = \Phi N \sigma \left(E \times 1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}\right) \left(1 \frac{\text{Gy}}{\text{J/kg}}\right) \quad (2)$$

dengan,

$\dot{D}$  : laju dosis serap, Gy/detik

$\Phi$  : fluks neutron termal, neutron/cm<sup>2</sup>.detik

N : jumlah atom tiap 1 kg jaringan, atom/kg

$\sigma$  :ampang lintang mikroskopik, cm<sup>2</sup>

E : energi yang dihasilkan, MeV

Khusus untuk komponen sinar- $\gamma$  hasil interaksi neutron termal dengan hidrogen, sebelum menentukan laju dosis terlebih dahulu menentukan laju reaksi pembentukan  $^2\text{H}$  yang setara dengan laju pelepasan sinar- $\gamma$  melalui persamaan:

$$\dot{R} = \Phi N_{\text{H}} \sigma_{\text{H}} \quad (3)$$

dengan,

$\dot{R}$  : laju reaksi pelepasan sinar- $\gamma$ ,  $\gamma$ /detik.kg atau Bq/kg

$\Phi$  : fluks neutron termal, neutron/cm<sup>2</sup>.detik

$N_H$  : jumlah atom hidrogen perkilogram jaringan, atom/kg

$\sigma_H$  : tampang lintang serapan untuk hidrogen, cm<sup>2</sup>

Kemudian laju dosis akibat reaksi  $^1H(n,\gamma)^2H$  dapat dihitung dengan persamaan:

$$\dot{D}_\gamma = \dot{R} \times \phi \times \Delta \quad (4)$$

dengan,

$\dot{D}$  : laju dosis serap, Gy/detik

$\dot{R}$  : laju reaksi pelepasan sinar- $\gamma$ ,  $\gamma$ /detik.kg atau Bq/kg

$\phi$  : fraksi energi sinar- $\gamma$  yang terserap oleh jaringan

$\Delta$  : laju dosis per aktivitas spesifik,

$$3,57 \times 10^{-13} \frac{\text{Gy/detik}}{\text{Bq/kg}}$$

Untuk menghitung laju dosis serap dengan persamaan:

$$\dot{D} = (W_B \cdot \dot{D}_B) + (W_p \cdot \dot{D}_p) + (W_n \cdot \dot{D}_n) + (W_\gamma \cdot \dot{D}_\gamma) \quad (5)$$

dengan,

$\dot{D}$  : laju dosis serap, Gy/detik

$W_B$  : faktor bobot dosis boron

$\dot{D}_B$  : laju dosis boron, Gy/detik

$W_p$  : faktor bobot dosis proton

$\dot{D}_n$  : laju dosis proton, Gy/detik

$W_n$  : faktor bobot dosis hamburan neutron,

$\dot{D}_n$  : laju dosis hamburan neutron, Gy/detik

$W_\gamma$  : faktor bobot dosis sinar- $\gamma$

$\dot{D}_\gamma$  : laju dosis sinar- $\gamma$ , Gy/detik

Waktu iradiasi unruk BNCT dapat ditentukan dengan persamaan:

$$t = \frac{\text{dosis terapi standar}}{\text{laju dosis serap}} \quad (6)$$

dengan,

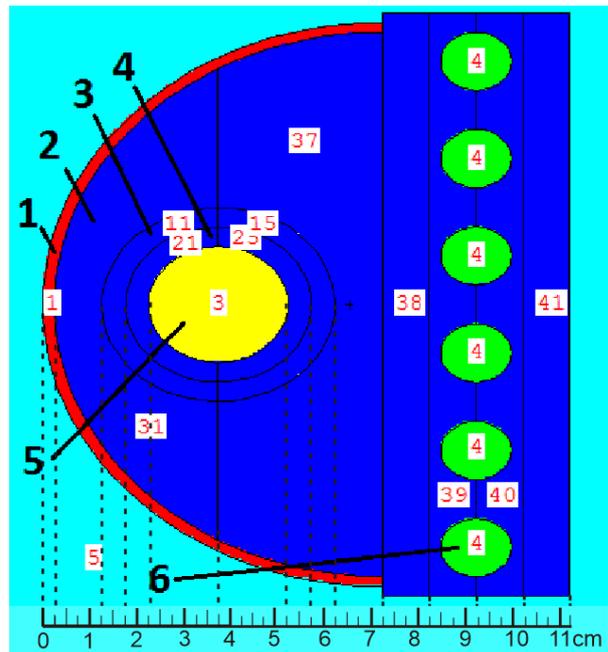
$t$  : waktu iradiasi, detik

dosis terapi standar: 50 Gy

laju dosis serap : laju dosis serap dari persamaan (10), Gy/detik

### HASIL PENELITIAN

Simulasi dilakukan dengan menggunakan MCNPX untuk membentuk geometri payudara dan BSA, adapun geometri terdapat pada gambar 1.

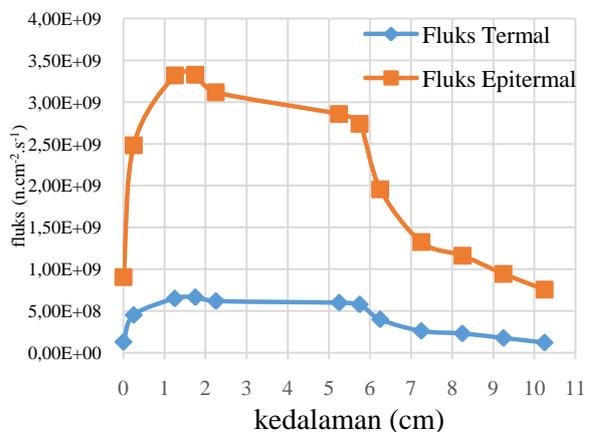


Gambar 1. Geometri Jaringan

Keterangan:

1. Kulit
2. Jaringan sehat
3. *Planning Target Volume* (PTV)
4. *Clinical Target Volume* (CTV)
5. *Gross Tumor Volume* (GTV)
6. Rusuk

Hasil keluaran simulasi ini adalah berupa fluks neutron, dosis hamburan neutron dan dosis foton yang dihasilkan oleh sumber radiasi. Besarnya nilai fluks neutron rata-rata ini sangat berpengaruh terhadap nilai dosis yang diterima oleh tiap jaringan. Adapun grafik fluk berdasarkan kedalaman dapat dilihat dalam gambar 1.



Gambar 2. Grafik Fluks berdasarkan kedalaman jaringan

Berdasarkan perhitungan laju dosis didapatkan waktu iradiasi yang disajikan di tabel 1.

Tabel 1. Waktu Iradiasi

Konsentrasi boron ( $\mu\text{g/g}$ )	Waktu iradiasi (detik)	Waktu radiasi (menit)
70	24565,80	409,43
90	20742,64	345,71
110	18434,17	307,24
130	16480,47	274,67
150	14944,79	249,08

Berdasarkan perhitungan didapatkan dosis serap yang diterima oleh organ yang disajikan di tabel 2.

### PEMBAHASAN

Desain payudara disimulasikan dengan bentuk setengah bola berdiameter 14 cm yang dilingkupi dengan kulit setebal 0,25 cm. Kanker berada di dalam payudara, dibagi

menjadi 3 bagian, yaitu GTV, CTV, dan PTV. GTV adalah pusat dari kanker, sedangkan CTV dan PTV adalah imbas yang berada di sekitar jaringan kanker. Diameter GTV, CTV dan PTV berturut-turut adalah 3, 4 dan 5 cm yang digambarkan dengan bentuk bola. Desain rusuk dengan pendekatan tabung diameter 1,5 cm dan panjang 15 cm, sedangkan desain tubuh disimulasikan dengan balok berukuran 15 cm  $\times$  15 cm  $\times$  4 cm. Tubuh yang disimulasikan adalah tubuh yang menyelimuti organ rusuk dan tidak mencapai punggung. Gambar 1 terdapat garis-garis horizontal yang membagi tiap jaringan menjadi bagian lebih kecil. Hal ini bertujuan untuk melihat distribusi dosis yang lebih detail di setiap jaringan. Bagian jaringan yang dibatasi oleh garis vertikal dinamakan *cell* yang memiliki nomor urut tertentu.

Tabel 2. Dosis Serap

Konsentrasi boron ( $\mu\text{g/g}$ )	Kulit	Kanker	Payudara	Rusuk
70	2,9	50	5,2	2,7
90	2,4	50	4,4	2,3
110	2,1	50	3,8	1,9
130	1,9	50	3,5	1,8
150	1,8	50	3,1	1,7

Berdasarkan gambar 2 terlihat bahwa fluks neutron epitermal mempunyai nilai lebih besar dibandingkan dengan fluks neutron termal, sedangkan fluks neutron termal berada dibawah neutron epitermal dan berangsur-angsur lebih cepat menurun mendekati fluks 0,00. Fluks neutron epitermal mengalami peningkatan terlebih dahulu sebelum mengalami penurunan dengan bertambahnya kedalaman jaringan. Hal ini terjadi karena fluks neutron epitermal mengalami penurunan energi (termoderasi) menjadi neutron termal yang berinteraksi dengan komponen penyusun jaringan. Besar kecilnya nilai fluks yang didapat oleh jaringan juga akan mempengaruhi nilai dosis serap total yang diterima oleh jaringan tubuh.

Bagi pelaksanaan terapi BNCT waktu merupakan aspek yang sangat penting dalam proses terapi. Waktu yang terlalu lama menyebabkan pasien tidak nyaman. Perbedaan konsentrasi boron pada kanker akan membuat

laju dosis yang berbeda sehingga waktu yang digunakan juga berbeda pula.

Pada tabel 1 terlihat bahwa pada konsentrasi boron 70  $\mu\text{g/g}$  diperlukan waktu iradiasi 409,43 menit sedangkan pada konsentrasi yang paling tinggi yaitu 150  $\mu\text{g/g}$  diperlukan waktu yang lebih cepat yaitu 249,0824 menit. Peningkatan waktu iradiasi ini berhubungan dengan tingginya laju dosis pada kanker pada konsentrasi boron yang semakin tinggi. Hal ini karena jumlah boron yang semakin tinggi sehingga probabilitas interaksi dengan neutron semakin tinggi sehingga mempengaruhi pada jumlah partikel alfa yang dihasilkan.

Hasil dosis serap yang diterima oleh setiap organ melalui perhitungan ditunjukkan dalam tabel 2. Pada tabel tersebut terlihat bahwa dosis yang diterima kulit kurang dari 6 Gy saat menggunakan konsentrasi boron 150  $\mu\text{g/g}$ . Dosis serap di kulit terus menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi boron, begitu juga dengan organ lain yang berkurang

saat pemberian konsentrasi diperbesar, hal ini sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu berada di bawah batas aman untuk setiap organnya. Pada penelitian ini dosis yang diterima oleh kulit, jaringan sehat payudara dan rusuk berada pada konsentrasi 150 µg/g, yaitu pada kulit 1,8 Gy, jaringan sehat payudara 3,1 Gy sedangkan pada rusuk 1,7 Gy. Hal ini menunjukkan bahwa pada kulit tidak terjadi efek samping karena dosis masih dibawah ambang batas aman, yaitu dibawah 2 Gy sehingga tidak menimbulkan efek samping *eritema*, sedangkan pada payudara sehat terjadi epilasi dan deskuamasi kering, yaitu pada rentang 3-12 Gy.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada terapi kanker payudara menggunakan BSA NG dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam rentang konsentrasi boron 70-150 µg/g semakin besar konsentrasi boron yang digunakan, waktu iradiasi yang digunakan juga semakin cepat. Dosis boron yang optimal berdasarkan hasil penelitian yaitu pada konsentrasi 150 µg/g.
2. Waktu yang dibutuhkan untuk iradiasi kanker payudara semakin cepat pada konsentrasi yang semakin besar yaitu pada

konsentrasi 150 µg/g dengan waktu iradiasi 249,08 menit atau 4 jam 15 detik.

### Saran

1. Untuk memperoleh hasil yang lebih optimal, maka sebaiknya menggunakan BSA yang lebih sesuai dengan standar IAEA agar didapatkan konsentrasi boron jaringan dan waktu iradiasi yang tepat.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap dosis yang diterima .
3. oleh paru-paru dan jantung selama pelaksanaan terapi BNCT pada kanker payudara.

## DAFTAR PUSTAKA

- Oemita, R., E. Rahajeng dan A. Y. Kristanto. (2011). *Prevalensi Tumor dan Beberapa Faktor yang Mempengaruhinya di Indonesia*.
- Wolfgang, S., dan Ray, M. (2009). *Requirement for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor*. Belanda: The European BNCT Project.
- Booth, T. E., et al. (2003). *MCNP—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume II: Overview and Theory*. New Mexico: Los Alamos National Laboratory.