

## PERHITUNGAN LAJU DOSIS SERAP MENGGUNAKAN METODE MONTE CARLO

Octolia Togibasa  
Program Studi Teknik Geofisika Jurusan Fisika FMIPA UNCEN

### ABSTRACT

Computerized treatment planning systems (TPS) are used in external beam radiotherapy to generate beam shapes and dose distributions with the intent to maximize tumor control and minimize normal tissue complications. In this study, we calculated the absorbed dose rate using Monte Carlo method onto five different biologic organs, which are cervix, bone, lungs, muscle, and phantom for comparison. The relation between absorber dose rate and depth shows exponential decay. Among five organs, cervix shows the highest absorbed dose rate, with total absorbed dose rate of 58,232%.

**Keywords :** Absorbed dose rate, Monte Carlo, Cervix

### PENDAHULUAN

Kanker adalah suatu proses pelipatgandaan sel yang tidak terkendali dan menghasilkan tumor yang menyerang jaringan-jaringan yang ada didekatnya dan bermetastatis (Kiple, 2003). Kanker juga merupakan pembunuh nomor dua setelah penyakit kariovaskular dimana 12% dari seluruh kematian disebabkan oleh kanker (Preedy dan Watson, 2010). Kanker serviks atau yang disebut juga sebagai kanker mulut rahim merupakan salah satu penyakit kanker yang paling banyak ditakuti kaum wanita. Di Indonesia, penderita kanker serviks mencapai sepertiga dari penderita kanker. Dan di dunia, setiap tahun ribuan wanita meninggal karena penyakit kanker serviks yang menjadikan kanker serviks menempati peringkat teratas sebagai penyebab kematian wanita dunia.

Beragam teknik dan metode penanganan penyakit kanker terus dikembangkan, salah satunya adalah teknik radioterapi. Radioterapi adalah metode pengobatan penyakit-penyakit maligna dengan menggunakan sinar pengion, bertujuan untuk mematikan sel-sel kanker sebanyak mungkin dan memelihara jaringan

sehat di sekitar tumor agar tidak menderita kerusakan terlalu berat (Khan, 1992). Radioterapi masih menjadi cara yang banyak dipilih untuk menyembuhkan penyakit kanker. Radioterapi yang selama ini banyak dikenal adalah radioterapi dengan menggunakan partikel tidak bermuatan seperti sinar gamma dan sinar-X, ataupun dengan partikel bermuatan seperti elektron, proton, dan ion berat seperti karbon-12.

Perencanaan terapi atau *Treatment Planning System* (TPS) sangat diperlukan dalam Radioterapi. Tujuannya adalah agar treatment tepat sasaran dengan memaksimalkan dosis pada target yang akan diradiasi, dan meminimalkan efek pada jaringan normal di sekitar target (Baltas dan Zamboglou, 2006). Pada studi ini telah dilakukan perhitungan laju dosis serap untuk berkas sinar gamma yang bertujuan untuk memberikan informasi bagaimana dosis foton yang diterima oleh target. Perhitungan laju dosis serap foton dilakukan dengan menggunakan metode Monte Carlo, untuk material biologis berbeda yaitu rahim, tulang, paru-paru, otot, dan air (*phantom*) sebagai pembanding.

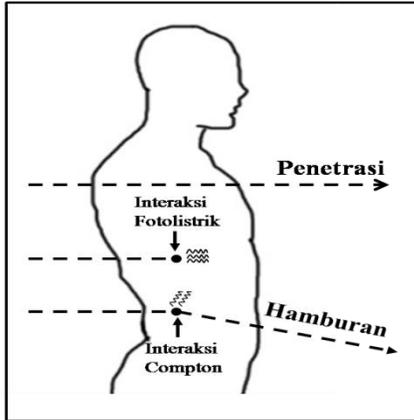
Ketika sinar gamma melewati suatu materi atau obyek, ada 3 kemungkinan utama yang dapat terjadi pada setiap satuan foton, yaitu: (1) penetrasi, dimana foton menembus bagian dari materi tanpa terjadi suatu interaksi sama sekali; (2) interaksi, dimana foton berinteraksi dengan materi dan seluruh energinya diserap oleh materi; dan (3) hamburan, dimana foton

---

\* *Alamat Korespondensi:*

Jurusan Fisika, Kampus UNCEN-WAENA,  
Jl. Kamp. Wolker, Jayapura Papua. 99358  
e-mail: [octolia@gmail.com](mailto:octolia@gmail.com)

berinteraksi dan terhambur atau terbelokkan dari arah datangnya, dan memberikan sebagian dari energinya ke materi (Arya, 1988). Ilustrasi sinar gamma melewati tubuh manusia diberikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Ilustrasi interaksi sinar gamma dengan materi

Ada sejumlah proses dari interaksi sinar gamma dengan materi, yang disertai dengan kehilangan energinya. Namun tidak semua proses memberikan kontribusi yang sama untuk setiap energi foton yang berbeda. Sinar gamma biasanya memiliki energi yang berbeda-beda. Ada tiga proses utama dimana foton kehilangan energinya disebabkan interaksi dengan materi, yaitu: (1) efek fotolistrik (2) efek Compton atau hamburan Compton, dan (3) produksi pasangan. Ketiga proses ini dominan pada setiap rentang energi yang berbeda-beda. Efek foto listrik memiliki rentang energi 0.01-0.5 MeV, hamburan Compton memiliki rentang energy 0.1-10 MeV dan produksi pasangan mulai dari 1.02 meV. Ketiga proses ini saling tidak bergantung satu sama lain.

Dosis serap ( $D$ ) didefinisikan sebagai energi yang diberikan oleh pengion ke materi setiap satuan massa. Ada banyak cara untuk menyatakan satuan dosis, namun satuan yang umum digunakan untuk menyatakan dosis serap dalam pengukuran radiasi adalah RAD (*radiation absorbed dose*) dimana  $1 \text{ RAD} = 100 \text{ erg/gr} = 100 \times 10^{-7}/10^{-3} \text{ kg} = 10^{-2} \text{ Gray}$ .

Besaran *Percentage Depth Dose (PDD)* didefinisikan sebagai hasil bagi dengan dosis pada suatu kedalaman acuan ( $d_0$ ) di sepanjang pusat sumbu dari berkas. Dengan demikian *PDD* dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$PDD = \frac{D_d}{D_{d_0}} \times 100\% \quad (1)$$

Pada saat partikel diradiasikan, maka hal pertama yang diperhatikan yaitu berapa jauh partikel itu bergerak sebelum partikel tersebut mengalami interaksi dengan atom dalam materi tersebut. Jarak yang ditempuh oleh partikel sebelum berinteraksi itu disebut dengan jalan bebas rata-rata. Penentuan jalan bebas rata-rata secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P(l) = \int_0^l \exp(-\mu l) \mu dl = 1 - \exp(-\mu l) \quad (3)$$

Untuk menentukan jalan bebas rata-rata  $l$  dan bilangan random dengan persamaan (2) dan metode inverse fungsi distribusi kebolehjadian  $P(x)$  diperoleh sebagai berikut:

$$l = -\frac{1}{\mu} \ln(r) \quad (4)$$

Dalam metode Monte Carlo setiap kali terjadi suatu peristiwa akan disertai dengan penilaian suatu besaran tertentu. Untuk penelitian ini besaran tersebut adalah laju dosis serap dari foton. Besarnya laju dosis serap ditentukan oleh besarnya fluks dan energi yang datang pada setiap peristiwa. Dalam hal ini, penentuan laju dosis serap untuk suatu peristiwa ke- $i$  pada suatu lapisan tertentu adalah sebagai berikut:

$$\text{Laju Dosis Serap} = \sum_i \left( \frac{\mu_a(E_i)}{\rho} \right) E_i w_i \Phi_i \quad (5)$$

Koefisien atenuasi massa,  $\mu/\rho$  merupakan satuan dasar yang digunakan dalam perhitungan jalan bebas rata-rata dan dosis serap dari foton dalam material-material biologis. Koefisien atenuasi massa berhubungan dengan harga cross section total per atom,

$$\mu/\rho = \sigma_{tot} / uA \quad (6)$$

dimana  $u = 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$  adalah massa atomik, dan  $A$  adalah massa atomik relatif dari target, dan  $\sigma_{tot}$  adalah cross section total untuk seluruh interaksi pada foton, yaitu efek fotolistrik, interaksi koheren (Rayleigh), interaksi inkoheren (Compton), produksi pasangan dan fotonuklir. Dengan demikian persamaan total penampang lintang (*cross section total*) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{fl} + \sigma_{coh} + \sigma_{incoh} + \sigma_{pp} + \sigma_{fn} \quad (7)$$

Dari laporan ICRU (44) diberikan harga  $\mu/\rho$  dari sumber radiasi Co-60 (1,25 MeV) untuk setiap materi biologis masing-masing. Tabel 1

dapat dilihat nilai koefisien atenuasi massa untuk lima material biologis, yaitu rahim, tulang, paru-paru, otot, dan air.

**Tabel 1.** Nilai koefisien atenuasi massa untuk lima material biologis.

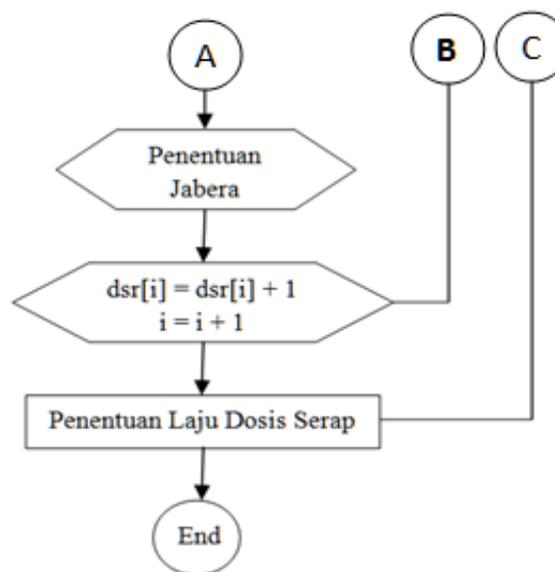
Material biologis	$\mu/\rho$
Air	0,06323
Tulang	0,05871
Paru-paru	0,06271
Otot	0,06265
Rahim	0,06282

**METODOLOGI PENELITIAN**

Pada studi ini dilakukan perhitungan laju dosis serap menggunakan program Pascal dengan analisis numerik Monte Carlo. Terdapat tiga bagian utama dalam melakukan perhitungan laju dosis serap (Haryanto, 1996 dan Arifah, 2005), yaitu:

1. Masukan: digunakan untuk menentukan jumlah foton yang digunakan. Energi awal dari foton adalah 1.25 MeV
2. Penentuan Jalan Bebas Rata-rata: digunakan untuk menentukan posisi foton tersebut dalam materi yang nantinya digunakan dalam penentuan dosis serap. Besarnya jalan bebas rata-rata diperoleh dari persamaan (4).
3. Penentuan Laju Dosis Serap: digunakan persamaan (5).

Dalam hal ini fluks ( $\Phi_i$ ) dan faktor bobot ( $w_i$ ) selalu bernilai satu, karena sesuai dengan asumsi yang digunakan. Cara kerja perhitungan laju dosis serap dapat dilihat dalam diagram alir yang diberikan pada Gambar 2 berikut.



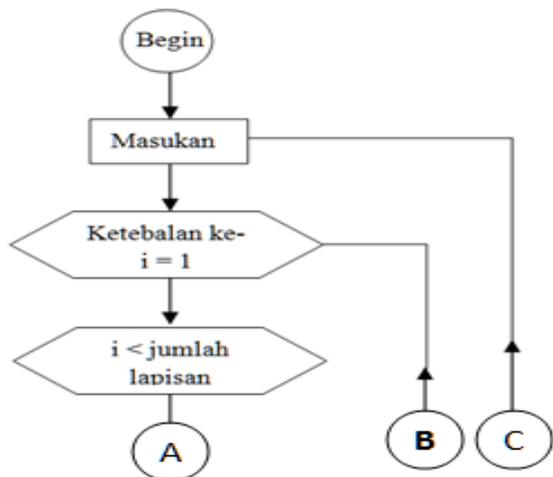
**Gambar 2.** Diagram alir perhitungan laju dosis serap.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

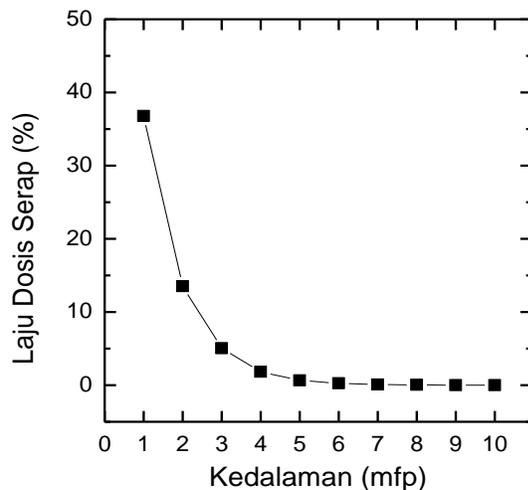
Tabel 2 memberikan hasil perhitungan laju dosis serap (%) terhadap kedalaman pada berkas sempit ( $N = 10^{-6}$ ) untuk setiap jenis material biologis, dimana percobaan dilakukan sebanyak 1000 kali. Ketebalan dinyatakan dalam satuan *mean free path* (mfp) dan kolom SD memberikan nilai standar deviasi untuk setiap hasil perhitungan. Material biologis yang menerima dosis paling besar adalah rahim. Total dosis yang diterima paling besar ke paling kecil berturut-turut untuk setiap material biologis adalah rahim (58,231%), tulang (58,203%), paru-paru (58,200%), otot (58,197%), dan air (58,194%).

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Laju Dosis Serap (%) untuk lima material biologis

Ketebalan (mfp)	Rahim	Tulang	Paru-paru	Otot	Air
1	36.7837	36.79252	36.78866	36.78988	36.78487
2	13.53086	13.5356	13.53667	13.53503	13.53625
3	5.022897	4.979301	4.979174	4.978251	4.978928
4	1.831645	1.83237	1.832076	1.831687	1.830745
5	0.673425	0.673783	0.673894	0.673389	0.673597
6	0.247677	0.247795	0.247949	0.247711	0.24819
7	0.091161	0.091137	0.091293	0.09101	0.091325
8	0.033483	0.033526	0.033611	0.033545	0.033593
9	0.012262	0.012358	0.012333	0.012286	0.012318
10	0.004571	0.004595	0.004592	0.0046	0.004622
Total	58.23169	58.20299	58.20025	58.19739	58.19443
SD	0.001548	0.000144	0.000151	0.000137	0.000192



Gambar 3 memberikan kurva laju dosis serap foton terhadap kedalaman untuk material biologis rahim, dimana persentase laju dosis serap menunjukkan hubungan eksponensial. Hal ini berarti bahwa akan selalu ada dosis yang diterima oleh organ walaupun dalam jumlah yang kecil. Agar mendapatkan informasi yang lebih lengkap, eksperimen ini sebaiknya dicoba untuk jumlah foton yang lebih besar ( $>10^6$ ), nilai energi yang berbeda, dan titik uji yang berbeda (Ramdhani, 2011).



**Gambar 3.** Kurva laju dosis serap terhadap kedalaman untuk material biologis rahim.

## KESIMPULAN

Dari perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa untuk berkas foton, laju dosis yang diterima menunjukkan hubungan eksponensial. Organ tubuh manusia relatif menerima dosis yang lebih besar dibandingkan phantom (air). Adapun material biologis yang menerima dosis paling besar adalah rahim, yaitu sebesar 58,232%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arifah, S. 2005. *Analisis Pengaruh Spin Elektron Terhadap Dosis Relatif Menggunakan Simulasi Monte Carlo*. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi, hal. 104-110.
- Arya, A.P. 1998. *Fundamental of Nuclear Physics*. Boston: Allyn and Bacon.
- Baltas, D. dan Zamboglou, N. 2006. *2D and 3D Planning in Brachytherapy*, dalam *New Technologies in Radiation Oncology*, L. W. Brady et.al., Ed. New York: Springer, 2006.
- Haryanto, F. (1996). *Metoda Monte Carlo Untuk Penentuan Faktor Build-up Dosis dan Persentasi Dosis Kedalaman dari Sumber Radiasi  $Co^{60}$* . Tesis Institut Teknologi Bandung.
- ICRU Report 44. 1992. *Photon, Electron, Proton, And Neutron Interaction Data for Body Tissues*.
- Khan, F.M. 1992. *The Physics of Radiation Therapy*. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins.
- Kiple, K.F. 2003. *The Cambridge Dictionary of Disease*. New York: Cambridge University Press.
- Preedy, V.R., and Watson, R.R. 2010. *Handbook of Disease Burdens and Quality of Life Measure*. New York: Springer.
- Ramdhani, S, dkk. 2011, Perhitungan Laju Dosis Serap untuk Simulasi Terapi Kanker Serviks dengan Metode High Dose Rate Berdasarkan TG-43U1, *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, Vol.11 (1) hal. 6-11.