

Perbandingan Dosis Serap Berkas Foton 16 MV Pada Berbagai Jenis Phantom menggunakan Metode Monte Carlo - EGSnrc

Ridwan Ramdani^{1*}, Freddy Haryanto²

¹ *Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati
Jl. A.H. Nasution No.105 Cibiru Bandung 40614*

² *Departemen Fisika, FMIPA Institut Teknologi Bandung
Jl.Ganesha No.10 Bandung 40132*

** E-mail: ridwan@fst.uinsgd.ac.id*

Telp/hp: 085795903881

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang perbandingan dosis serap berkas foton 16 MV pada berbagai jenis material phantom dengan menggunakan simulasi Monte Carlo-EGSnrc. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dosis serap pada berbagai jenis medium phantom yaitu jaringan lunak, paru-paru, tulang dan pmma serta pada medium non homogen. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo BEAMnrc dan DOSXYZnrc yang merupakan pengembangan dari EGSnrc. BEAMnrc digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan kepala linac dengan SSD 100 cm dan *Field size* 10x10 cm². DOSXYZnrc digunakan untuk memodelkan phantom 40x40x40 cm³ dan mensimulasikan dosis serap pada phantom tersebut. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa kedalaman pada dosis maksimum masing-masing adalah 2.7 cm untuk jaringan lunak, 9 cm untuk paru-paru, 1.5 cm untuk tulang dan 2,5 cm untuk pmma. Untuk medium non homogen dibuat dengan menyisipkan masing-masing paru-paru dan tulang setebal 10 cm di phantom air pada kedalaman 15 cm. Penyisipan tersebut

menyebabkan perubahan dosis serap untuk seluruh daerah phantom. Penambahan paru-paru setebal 10 cm menghasilkan rentang faktor koreksi 0,97 – 1,19, sedangkan penambahan tulang setebal 10 cm menghasilkan rentang faktor koreksi 0,82-1,03.

Kata Kunci: Monte Carlo; BEAMnrc; DOSXYZnrc; *Percentage Depth Dose* (PDD)

ABSTRACT

Research on comparing the absorbed dose 16 MV photon beam in the phantom has been done using a Monte Carlo simulation-EGSnrc. The purpose of this study was to compare the absorbed dose in various types of medium phantom: soft tissue, lungs, bones and pmma, also in inhomogenous phantom. This research was conducted using Monte Carlo simulation BEAMnrc and DOSXYZnrc which is the development of EGSnrc. BEAMnrc used to model and simulate the linac head with a SSD 100 cm and Field size 10x10 cm². DOSXYZnrc used to design the phantom with the size of 40x40x40 cm³ and simulate the absorbed dose in the phantom. Based on research carried out showed that the maximum depth at each dose was 2.7 cm for soft tissue, 9 cm for lung, 1.5 cm for bone and 2.5 cm for the pmma. For non-homogeneous medium is made by inserting each of the lung and bone as thick as 10 cm in the water phantom at a depth of 15 cm. The insertion causes changes in absorbed dose to the whole area phantom. The addition of the lungs to 10 cm generating a correction factor ranges from 0.97 to 1.19, while the addition of 10 cm thick bone produces a correction factor ranges from 0.82 to 1.03.

Keywords: Monte Carlo; BEAMnrc; DOSXYZnrc, Percentage Depth Dose (PDD)

1. Pendahuluan

Pada tahun 1895 Wilhelm Conrad Roentgen menemukan Sinar-X dan tahun 1898 Currie juga menemukan Radium, penemuan tersebut menjadi awal penggunaan radiasi dalam bidang kesehatan khususnya bidang radioterapi, hal ini terbukti beberapa tahun kemudian yaitu pada tahun 1899 adanya laporan pertama tentang penyembuhan penyakit kanker dengan radiasi [1]. Dalam dunia medis terdapat tiga modalitas yang dapat digunakan untuk menangani penyakit kanker yaitu operasi, kemoterapi dan radioterapi. Radioterapi adalah terapi menggunakan radiasi, sifat sel kanker yang lebih sensitif terhadap radiasi dibandingkan dengan sel sehat inilah yang mampu memberikan alasan pengobatan kanker dengan radioterapi [7]. Prinsip radioterapi adalah memberikan dosis maksimum pada daerah sel kanker dan seminimal mungkin pada daerah sel sehat. Dalam prakteknya, sebelum dilakukan treatment langsung ke pasien maka harus dilakukan proses perencanaan radiasi (*treatment planning*), hasil dari perencanaan ini biasanya dapat dibandingkan dengan simulasi Monte Carlo

yang merupakan *gold standard* untuk simulasi *transport* partikel. Keberadaan berbagai jenis jaringan dalam tubuh manusia menjadi perhatian khusus dalam perencanaan radiasi, karena medium yang berbeda maka dosis serapnya pun akan berbeda. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan perbandingan dosis serap pada phantom yang terdiri dari berbagai jenis medium, juga bagaimana dosis serap pada phantom yang terdiri lebih dari satu medium (*non homogenous phantom*). Berkas radiasi yang digunakan adalah berkas foton 16 MV dengan field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan SSD 100 cm.

2. Metode Penelitian

Secara umum, penelitian ini dilakukan dengan dua proses. Pertama, proses simulasi kepala linac menggunakan BEAMnrc, pada proses ini simulasi dilakukan untuk mendapatkan model kepala linac yang menghasilkan berkas foton 16 MV. Model kepala linac yang digunakan adalah model yang sudah ada pada *sample* EGSnrc. Berkas foton yang sudah dihasilkan kemudian dianalisis karakteristiknya seperti *fluence*, *fluence energy* dan *spectral distribution*. Kedua, proses simulasi dosis serap pada phantom, pada proses ini berkas foton yang

sudah ada digunakan sebagai sumber *input*. Keluaran dari proses ini berupa data dosis serap pada berbagai jenis medium phantom.

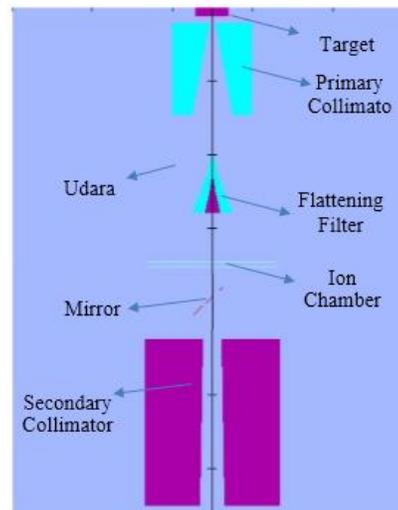
2.1 Desain kepala linac pada BEAMnrc

Pada BEAMnrc terdapat berbagai macam jenis *Component Modules* (CMs) yang dapat digunakan untuk desain dan simulasi kepala linac yang dapat menghasilkan berkas foton dengan berbagai variasi energi, pada penelitian ini linac diatur dengan *field size* 10

x 10 cm² dan SSD 100 cm, *output* dari simulasi kepala linac pada BEAMnrc adalah berupa data *phase space file* (*phsp*). Data ini berisi tentang informasi partikel pada *scoring plane* [2]. Analisis data *phsp* dilakukan dengan menggunakan BEAMDP, program ini merupakan *software* bawaan dari BEAMnrc. Adapun data komponen modul yang digunakan untuk desain kepala linac adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data komponen modul kepala linac

No	Komponen Modul	CM
1	Target	SLABS
2	Primary Collimator	CONS3R
3	Flattening Filter	FLATFILT
4	Ion Chamber	CHAMBER
5	Mirror	MIRROR
6	Secondary Collimator	JAWS
7	Udara SLAB	SLABS



Gambar 1. Preview desain kepala linac menggunakan BEAMnrc

2.2 Desain Phantom pada DOSXYZnrc

DOSXYZnrc digunakan untuk melakukan desain dan simulasi dosis serap pada berbagai jenis medium phantom dengan ukuran 40 x 40 x 40 cm³, pada penelitian ini dosis serap yang dilihat adalah dosis

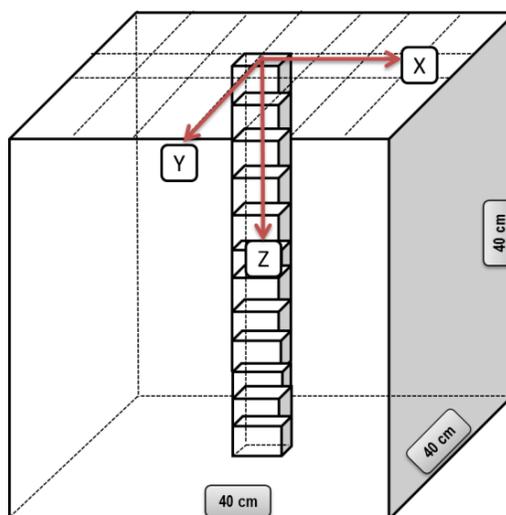
serap yang berubah terhadap kedalaman atau *percentage depth dose* (PDD) saja, sehingga pada arah sumbu Z phantom dibuat *volume element* (*voxel*) yang lebih kecil dengan mengatur koordinat (0,0) pada sumbu (X,Y). Output dari simulasi

DOSXYZnrc adalah berupa data *.3ddose* yang merupakan data distribusi dosis tiga dimensi, analisis data *.3ddose* dilakukan dengan menggunakan program *statdose* dan *dosxyz_show*, masing-masing dapat

digunakan untuk melihat distribusi dosis satu dimensi seperti PDD dan distribusi dosis dua dan tiga dimensi (distribusi dosis X-Y). Desain phantom yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Jumlah dan ukuran voxel pada phantom

Sumbu	Jumlah Voxel	Ukuran Voxel (cm)	
X	3	Voxel ke-1	18,5
		Voxel ke-2	3
		Voxel ke-3	18,5
Y	3	Voxel ke-1	18,5
		Voxel ke-2	3
		Voxel ke-3	18,5
Z	36	Group ke-1 (2 Voxel)	0,4
		Group ke-1 (16 Voxel)	0,2
		Group ke-1 (18 Voxel)	2

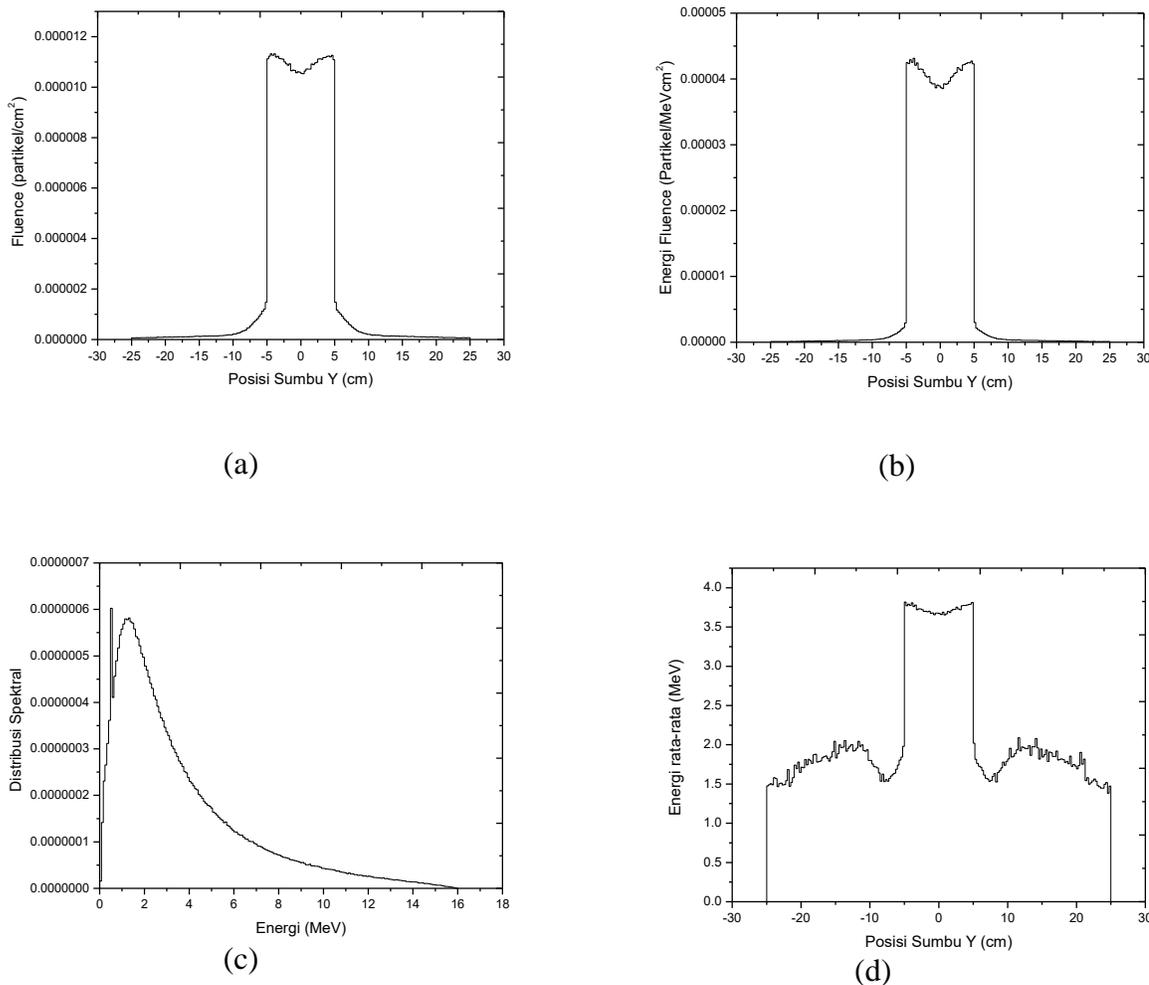


Gambar 2. Desain phantom PDD menggunakan DOSXYZnrc [4]

Simulasi BEAMnrc dan DOSXYZnrc dilakukan secara *parallel core computation* dengan menggunakan 4 processor core i3. Proses ini dapat mereduksi waktu simulasi yang dibutuhkan karena satu proses simulasi dikerjakan oleh 4 processor secara bersamaan [3].

3. Hasil dan Pembahasan

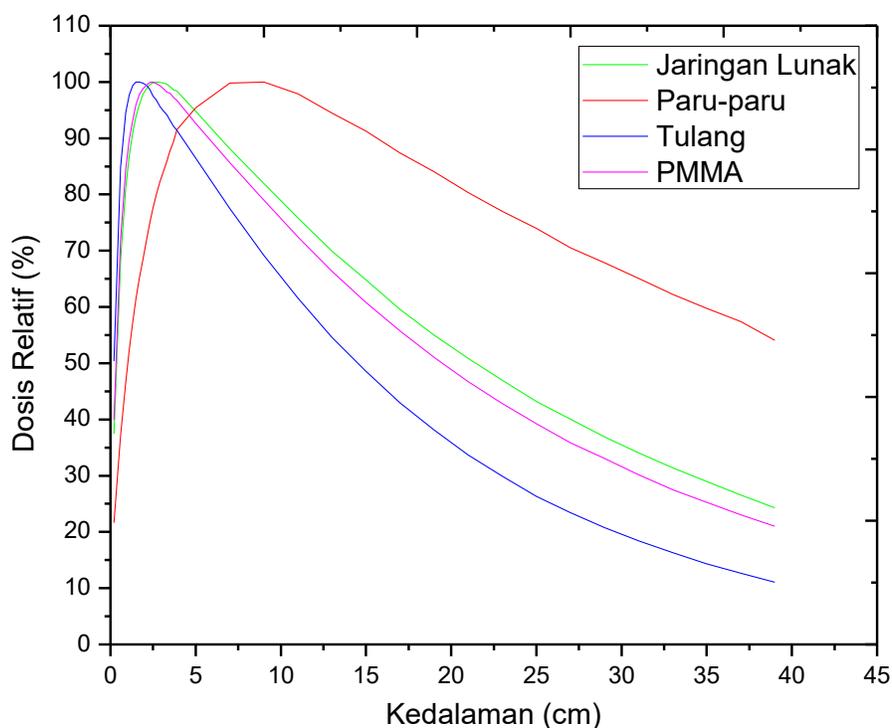
Karakteristik berkas foton 16 MV dapat dilihat dari *fluence*, *fluence energy*, *spectral distribution* dan *mean energy*. Karakteristik tersebut merupakan hal yang penting karena dapat mempengaruhi distribusi dosis pada phantom. Pada saat eksperimen, mendapatkan karakteristik berkas foton sangat sulit, ini karena keterbatasan detektor dan juga mesin pesawat linac yang sudah dipasang secara permanen [3]. Berikut ini adalah karakteristik berkas foton 16 MV dengan *field size* $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan SSD 100 cm.



Gambar 3. Karakteristik berkas foton 16 MV (a) fluence partikel (b) energi fluence partikel (c) distribusi spektral (d) energi rata-rata

Dosis serap yang akan dilihat adalah dosis serap terhadap arah kedalaman phantom atau percentage depth dose (PDD). PDD ditentukan dalam bentuk dosis relatif yang menggambarkan perbandingan dosis serap pada titik tertentu terhadap dosis serap maksimum.

Medium phantom yang digunakan adalah jaringan lunak, paru-paru, tulang dan pmma serta medium non homogen yang berisi air yang disisipkan tulang dan paru-paru. Berikut ini adalah PDD pada phantom dengan berbagai jenis medium homogen.



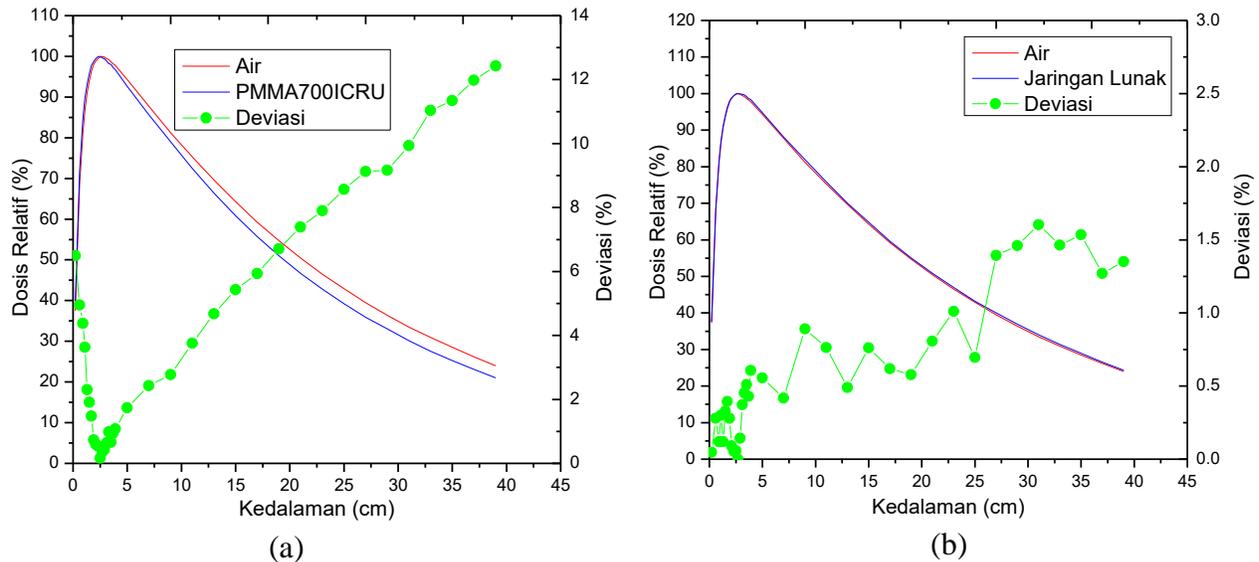
Gambar 4. PDD pada phantom homogen dengan berbagai jenis medium

Berdasarkan gambar 4 terlihat bahwa PDD untuk semua jenis medium memiliki bentuk pola yang sama, dibagian permukaan phantom maka dosis serap naik hingga mencapai kedalaman pada dosis maksimum (D_{max}), kemudian dosis serap turun seiring dengan bertambahnya kedalaman phantom. Akan

tetapi kedalaman pada dosis maksimum yang dihasilkan dari empat medium tersebut berbeda-beda, hasil yang didapatkan adalah jaringan lunak 2,7 cm , paru-paru 9 cm, tulang 1,5 cm dan pmma 2,5 cm. Selama ini jaringan lunak dianggap memiliki karakteristik seperti air, sehingga dalam eksperimen sehari-hari

selalu menggunakan medium air (*water phantom*) [5]. Berikut ini adalah perbandingan

PDD antara medium air dengan jaringan lunak dan pmma.



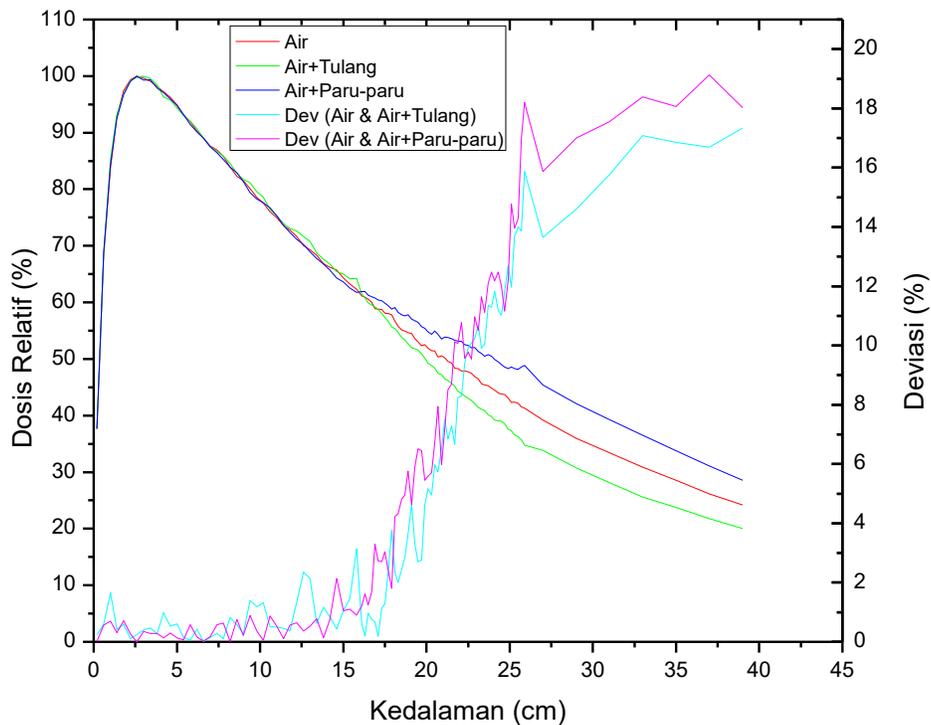
Gambar 5. Perbandingan PDD (a) air dengan pmma (b) air dengan jaringan lunak.

Kedalaman pada dosis maksimum untuk medium air adalah 2,7 cm, jika dibandingkan dengan jaringan lunak dan pmma maka nilai D_{max} air sama dengan jaringan lunak, sedangkan dengan pmma memiliki deviasi 7,41 %. Adapun deviasi dosis serap dapat dilihat pada gambar 5, berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa deviasi air dengan pmma lebih besar daripada air dengan jaringan lunak, rata-rata deviasi untuk air dengan pmma 4,58% dan air dengan jaringan lunak 0,62%. Sehingga dapat dikatakan bahwa jaringan lunak memiliki karakteristik yang sama dengan air. Hasil ini pun sesuai dengan

penelitian sebelumnya oleh Alfian Rizani dkk yang menggunakan berkas foton 6 MV [5].

Praktek biasanya dilakukan di rumah sakit dengan menggunakan pesawat linac, perhitungan dosis langsung diberikan kepada tubuh manusia. Bagian-bagian tubuh manusia tidak hanya terdiri dari jaringan lunak saja tetapi terdiri dari banyak jaringan misalnya tulang, paru-paru, hati, dll. Karena tubuh manusia terdiri dari berbagai jenis medium maka perhitungan dosis serap akan melibatkan faktor non homogen. Berikut ini adalah perbandingan PDD pada phantom air homogen dengan phantom air yang disisipkan

tulang dan paru-paru setebal 10 cm yang homogen. berada pada kedalaman 15 cm di phantom non



Gambar 6. Perbandingan PDD pada phantom homogen dan phantom non homogen

Berdasarkan gambar 6 terlihat bahwa penyisipan paru-paru dan tulang mengakibatkan adanya perubahan dosis serap mulai dari daerah permukaan hingga di paru-paru dan tulang sampai daerah setelah paru-paru dan tulang itu sendiri. Untuk penyisipan paru-paru, perbedaan dosis serap pada kedalaman 0 cm sampai 15 cm mengalami rata-rata penurunan sebesar 0,71 %, akan tetapi dosis serap di paru-paru dan daerah setelahnya mengalami rata-rata peningkatan sebesar 3,36

% dan 5,90 %. Jaringan paru-paru seperti spons yang berpori, paru-paru akan mengapung di dalam air karena ada udara di dalamnya [6]. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan dosis serap pada paru-paru. Untuk penyisipan tulang, perbedaan dosis serap pada kedalaman 0 cm sampai 15 cm mengalami rata-rata peningkatan sebesar 0,33 % dan mengalami rata-rata penurunan pada daerah tulang dan setelahnya sebesar 2,70 % dan 5,32 %.

Tabel 3. Dosis serap dan faktor koreksi untuk medium homogen dan non homogen

Kedalaman (cm)	Dosis Relatif (%)			Faktor Koreksi	
	Homogen	Non homogen	Non homogen	Paru-paru	Tulang
	Air	Air+paru-paru	Air+tulang		
1	83,77174	84,35749	85,15968	1,00011	1,01656
1,4	92,83113	92,5391	93,22297	0,99685	1,00422
1,8	97,41618	96,72619	96,83563	0,99291	0,99404
3,4	99,09406	99,3785	99,56343	1,00287	1,00400
5,4	93,17487	93,23938	93,03545	1,00069	0,99850
6,6	89,05299	89,07563	89,06534	1,00025	1,00013
7,4	86,92068	86,41748	86,67448	0,99421	0,99716
8,6	82,28029	82,90441	82,75418	1,00758	1,00575
9,4	80,07807	79,37092	81,19543	0,99116	1,01395
10,6	76,02319	76,68943	76,41078	1,00876	1,00509
11,4	73,56171	73,64321	73,89979	1,00110	1,00459
13,8	66,84145	66,74837	67,62379	0,99860	1,01170
15	64,30132	63,62337	64,98389	0,98945	1,01061

Tabel 3 menunjukkan data perubahan dosis serap **4. Simpulan**

pada kedalaman 0 cm sampai 15 cm dari phantom non homogen, juga menunjukkan faktor koreksi untuk kedua phantom non homogen tersebut. Penambahan paru-paru setebal 10 cm mengakibatkan rentang faktor koreksi 0,97 – 1,19, sedangkan penambahan tulang setebal 10 cm mengakibatkan rentang faktor koreksi 0,82-1,03.

Berdasarkan hasil yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa D_{max} untuk medium homogen jaringan lunak, paru-paru, tulang dan pmma masing-masing adalah 2,7 cm, 9 cm, 1,5 cm dan 2,5 cm. Karakteristik jaringan lunak sama dengan air karena memiliki distribusi dosis serap dan D_{max} yang sama yaitu 2,7 cm. Pada phantom non homogen, penambahan paru-paru dan tulang ternyata berpengaruh terhadap dosis serap

pada semua daerah, tidak hanya pada daerah paru-paru dan tulang saja. Penyisipan paru-paru setebal 10 cm mengakibatkan penurunan dosis serap sebesar 0,71 %, tetapi menyebabkan peningkatan dosis serap 3,36 % di daerah paru-paru dan 5,90 % di daerah setelah paru-paru. Penyisipan tulang setebal 10 cm, dosis serap menyebabkan peningkatan 0,33 % di daerah 0 cm sampai 15 cm dan penurunan 2,70 % di daerah tulang serta 5,32 % di daerah setelah tulang. Rentang faktor koreksi akibat adanya paru-paru yaitu 0,97 – 1,19 dan akibat adanya tulang yaitu 0,82 – 1,03.

5. Referensi

1. Gondhowiardjo, Soeharti. (2004). *Penggunaan IPTEK Nuklir dalam pemberian terapi radiasi yang aman dan nyaman*. Jakarta: Departemen Radioterapi – RSCM FKUI – Perjan RSCM.
2. Kawrakow, I., Walters. B., D.W.O. Rogers. (2011). *BEAMnrc Users Manual*. Ottawa: National Research Council of Canada.
3. Ramdani R, Yani S, Rhani MF, Arif I dan Haryanto F. (2015). *Commissioning Linear Accelerator Varian Clinax iX Foton Beam 10 MV menggunakan simulasi Monte Carlo EGSnrc Code System*. Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains (SNIPS) 2015 ITB Bandung.
4. B. R. B. Walters dan D. W. O. Roger. (2013). *DOSXYZnrc User Manual Report PIRS-794*. Ottawa: National Research Council of Canada.
5. Rizal, Alfian., Setia Budi, Wahyu., Anam, Choirul. (2012). *Simulasi Monte Carlo untuk menentukan dosis sinar-X 6 MV pada ketakhomogenan medium jaringan tubuh*. Jurnal Berkala Fisika. Vol.15 No.2 April 2012 hal 49-56.
6. Pearce, C. Evelyn. (2013). *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: Kompas Gramedia.
7. Anam, Choirul. (2010). *Simulasi Monte Carlo untuk kontaminasi elektron pada berkas sinar-X 6 MV produksi pesawat linac Elekta SL15*. Depok : FMIPA UI