

# TUGAS AKHIR

## PERENCANAAN PENGOBATAN RADIOTERAPI FOTON DENGAN BANTUAN SIMULASI



Rayza Theo Adisaputra

NPM: 2015720001

PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
2020

**FINAL PROJECT**

**PLANNING OF PHOTON RADIOTHERAPY TREATMENT  
WITH SIMULATION**



**Rayza Theo Adisaputra**

**NPM: 2015720001**

**DEPARTMENT OF PHYSICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
2020**

# LEMBAR PENGESAHAN

## PERENCANAAN PENGOBATAN RADIOTERAPI FOTON DENGAN BANTUAN SIMULASI

**Rayza Theo Adisaputra**

**NPM: 2015720001**

**Bandung, 2 Januari 2020**

**Menyetujui,**

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pendamping**

**Flaviana, S.Si., M.T.**

**Reinard Primulando, Ph.D.**

**Ketua Tim Penguji**

**Anggota Tim Penguji**

**Reinard Primulando, Ph.D.**

**Risti Suryantari, M.Sc**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi**

**Reinard Primulando, Ph.D.**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul:

### **PERENCANAAN PENGOBATAN RADIOTERAPI FOTON DENGAN BANTUAN SIMULASI**

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,  
Tanggal 2 Januari 2020

Meterai Rp. 6000
---------------------

Rayza Theo Adisaputra  
NPM: 2015720001

## ABSTRAK

Radioterapi eksternal merupakan salah satu metode pengobatan kanker dengan menggunakan pancaran partikel dari luar menuju tubuh pasien. Radioterapi foton merupakan salah satu jenis radioterapi eksternal yang menggunakan foton sebagai partikel yang dipancarkan. Perhitungan dosis yang diserap dan distribusi dosis harus dilakukan agar tidak membahayakan pasien. Perhitungan distribusi dosis dilakukan dengan menggunakan simulasi. Program yang dipakai dalam pembuatan simulasi adalah Geant4 dengan objek *water phantom*. Sumber energi yang digunakan adalah sinar *gamma*. Distribusi pancaran sinar *gamma* yang digunakan adalah *cone beam* dengan variasi tingkat energi dan jumlah partikel. Variasi tingkat energi terdiri dari 100 keV, 1 MeV, 10 MeV, dan 100 MeV sesuai dengan rentang energi sinar gamma, sementara variasi jumlah partikel terdiri dari  $10^3$ ,  $10^5$ , dan  $10^6$  partikel. Data hasil perhitungan berupa matriks dan selanjutnya divisualisasikan menjadi diagram kontur dan *percentage depth dose* (PDD) untuk mendapatkan posisi dan nilai  $D_{max}$ . Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi jumlah partikel hanya mempengaruhi besar nilai dari  $D_{max}$  dan tidak mempengaruhi posisi  $D_{max}$ , sementara variasi tingkat energi mempengaruhi posisi  $D_{max}$ . Jumlah dosis yang diserap oleh *water phantom* dengan pancaran sinar *gamma* polienergetik dengan rentang energi 1 MeV hingga 10 MeV pada kasus  $10^3$  partikel bernilai  $5.53148 \times 10^{-18}$  Gy, pada kasus  $10^5$  partikel bernilai  $1.4371 \times 10^{-16}$  Gy, sementara pada kasus  $10^6$  partikel bernilai  $1.4369 \times 10^{-15}$  Gy.

**Kata-kata kunci:** sinar *gamma*, diagram kontur, *percentage depth dose*, simulasi

## ABSTRACT

External radiotherapy is one of the methods for cancer treatment that uses radiated particles emitted from outside to the patient's body. Photon radiotherapy is a type of external radiotherapy that uses photon as emitted particles. Calculation of the absorbed dose and dose distribution must be done so as not to endanger the patient. Calculation of dose distribution is done by using a simulation. Program that used for simulation is Geant4 with water phantom as object. The energy source that used is gamma rays. The distribution type of gamma rays that used is cone beam with variation of energy levels of 100 keV, 1 MeV, 10 MeV, and 100 MeV according to the energy levels of gamma rays, while the variations in the number of particles are  $10^3$ ,  $10^5$ , and  $10^6$  particles. The calculated data is in the form of matrix and then visualized to contour diagram and percentage depth dose (PDD) to get the position and the value of  $D_{max}$ . The results of the simulation show that variations in the number of particles only affect the value of  $D_{max}$  and won't affect the position of  $D_{max}$ , while variations in energy levels affect the position of  $D_{max}$ . The amount of absorbed dose by the water phantom with polienenergetic gamma rays of 1 MeV to 10 MeV in the case of  $10^3$  particles is  $5.53148 \times 10^{-18}$  Gy, in the case of  $10^5$  particles is  $1.4371 \times 10^{-16}$ , while in the case of  $10^6$  particles is  $1.4369 \times 10^{-15}$ .

**Keywords:** gamma rays, contour diagram, percentage depth dose, simulation

*Fisika UNPAR*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkatNya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perencanaan Pengobatan Radioterapi Foton dengan Bantuan Simulasi" ini dengan baik dan lancar. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Fakultas Teknologi Informasi dan Sains Universitas Katolik Parahyangan. Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak yang telah memberikan bimbingan dan arahan yang berguna bagi penulisan ini. Oleh sebab itu, dengan segala ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Flaviana, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang dengan sangat sabar membimbing dan mengarahkan penulis.
2. Bapak Reinard Primulando, Ph.D. selaku dosen pembimbing serta yang sudah membimbing dan membantu penulis dalam melakukan penelitian.
3. Ibu Risti Suryantari, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
4. Dr. Freddy Haryanto selaku dosen Fisika ITB yang telah memberikan arahan, masukan, serta tujuan penelitian skripsi ini.
5. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung baik dalam moral maupun material.
6. Staff laboran Fisika UNPAR yang memberikan fasilitas tempat belajar bagi penulis.
7. Michael Hidayat, Delvydo, dan Julia Ferenika yang telah memberikan banyak informasi kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
8. Livia Jozefina yang telah memberikan dukungan kepada penulis baik moral maupun material.
9. Nopyana Benjamin yang telah membantu penulis dalam menyiapkan fasilitas dan alat penelitian.
10. Para dosen dan staff TU Fisika UNPAR.
11. Seluruh rekan-rekan mahasiswa yang memberikan dukungan serta doa kepada penulis.

Bandung, Januari 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxi</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	2
1.3 Tujuan . . . . .	2
1.4 Batasan Masalah . . . . .	2
1.5 Sistematika Pembahasan . . . . .	3
<b>2 LANDASAN TEORI</b>	<b>5</b>
2.1 Atom . . . . .	5
2.2 Jenis Partikel . . . . .	6
2.3 Interaksi Partikel dengan Bahan . . . . .	6
2.3.1 Partikel Berat . . . . .	6
2.3.2 Elektron . . . . .	8
2.3.3 Radiasi Elektromagnetik . . . . .	9
2.4 Pengukuran Dosis Serap . . . . .	11
2.4.1 Dosis Serap Radiasi . . . . .	11
2.4.2 Kerma . . . . .	12
2.4.3 Exposure . . . . .	13
2.4.4 Hubungan Dosis yang Diserap dengan Kerma . . . . .	13
2.4.5 Hubungan Dosis yang Diserap dengan Exposure . . . . .	14
2.5 Penyebaran Pancaran Foton . . . . .	14
2.6 Perencanaan Klinis pada Radioterapi Eksternal . . . . .	16
2.6.1 Perhitungan Volum . . . . .	16
2.6.2 Spesifikasi Dosis . . . . .	17
2.6.3 Simulasi Radioterapi . . . . .	17
2.7 Hubungan Interaksi Partikel dengan Absorpsi Dosis . . . . .	18
2.8 Simulasi dengan menggunakan Metode Monte Carlo . . . . .	18
<b>3 METODE PENELITIAN</b>	<b>21</b>
3.1 Penentuan Geometri . . . . .	22
3.2 Penentuan Sumber Energi . . . . .	25
3.3 Perhitungan Energi dan Absorbtansi . . . . .	25
3.4 Visualisasi . . . . .	26
<b>4 HASIL DAN ANALISIS PEMBAHASAN</b>	<b>29</b>

4.1	Diagram Kontur dengan Variasi Jumlah Partikel . . . . .	29
4.2	Grafik PDD ( <i>Percentage Depth Dose</i> ) . . . . .	31
4.3	Diagram Kontur dengan Variasi Besar Energi . . . . .	32
4.4	Grafik Hubungan $L_{max}$ dengan Besar Energi . . . . .	34
<b>5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>37</b>
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>39</b>
<b>A</b>	<b>DIAGRAM KONTUR <math>10^3</math> PARTIKEL</b>	<b>41</b>
<b>B</b>	<b>DIAGRAM KONTUR <math>10^5</math> PARTIKEL</b>	<b>43</b>
<b>C</b>	<b>DIAGRAM KONTUR <math>10^6</math> PARTIKEL</b>	<b>45</b>
<b>D</b>	<b>KODE INPUT</b>	<b>47</b>

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Sketsa model atom sederhana[1]. . . . .	5
2.2	Foton yang bergerak pada sumbu horizontal menabrak elektron diam sehingga menimbulkan foton berenergi rendah dengan sudut $\theta$ dan elektron dengan sudut $\phi$ . [2]	10
2.3	Hubungan antara dosis yang diserap dengan kerma pada pasien. [3] . . . . .	13
2.4	Perbedaan <i>fan beam</i> dengan <i>cone beam</i> . [4] . . . . .	14
2.5	Penyebaran foton yang berasal dari sebuah titik sumber foton. Pada jarak $f_a$ daerah yang terkena pancaran seluas $a^2$ dan pada jarak $f_b$ daerahnya seluas $b^2$ . [5] . . . . .	15
2.6	Ilustrasi penyebaran foton yang melewati lobus. [5] . . . . .	16
2.7	Pembagian volume serta organ yang sensitif terhadap radiasi (kantung kemih dan rektum) dalam perencanaan pengobatan kanker prostat.. [5] . . . . .	17
3.1	Diagram Alur Penelitian. . . . .	22
3.2	Diagram Penentuan Geometri[6] . . . . .	22
3.3	Program pembuatan <i>world</i> pada file "DetectorConstruction.cc". . . . .	23
3.4	Ilustrasi Geometri. . . . .	23
3.5	Program pembuatan <i>water phantom</i> pada file "DetectorConstruction.cc". . . . .	24
3.6	Program segmentasi <i>water phantom</i> pada file "DetectorConstruction.cc". . . . .	24
3.7	Program sumber partikel pada file "run.mac". . . . .	25
3.8	Program perhitungan dosis pada "DetectorConstruction.cc". . . . .	25
3.9	Program output dosis yang terserap pada file "RunAction.cc". . . . .	26
3.10	Contoh output perhitungan dosis yang terserap. . . . .	26
3.11	Contoh input data dari file "totDose100000.txt" dengan batas [spasi] disetiap data. . . . .	26
3.12	Contoh pengambilan data dosis untuk lapisan y kedua. Sumbu x dan z berjumlah sama dengan segmentasi <i>water phantom</i> . . . . .	27
3.13	Diagram kontur digambarkan dengan mengatur warna untuk setiap level pada sumbu z. Nilai "level" terdiri dari 5000 nilai dengan rasio yang sama dari -100 hingga -15 . . . . .	27
4.1	Geometri visualisasi. . . . .	29
4.2	Diagram kontur distribusi dosis pada lapisan dengan kedalaman 50 cm pada sumbu y dengan jumlah sumber pancaran sebanyak $10^3$ partikel. . . . .	30
4.3	Diagram kontur distribusi dosis pada lapisan dengan kedalaman 50 cm pada sumbu y dengan jumlah sumber pancaran sebanyak $10^5$ partikel. . . . .	30
4.4	Diagram kontur distribusi dosis pada lapisan dengan kedalaman 50 cm pada sumbu y dengan jumlah sumber pancaran sebanyak $10^6$ partikel. . . . .	31
4.5	Grafik PDD pada lapisan dengan kedalaman 50 cm pada sumbu y terhadap kedalaman z dengan sumber energi sinar <i>gamma</i> 1-10 MeV dengan jumlah pancaran (a) $10^3$ partikel, (b) $10^5$ partikel, dan (c) $10^6$ partikel. . . . .	32
4.6	Diagram kontur distribusi absorpsi dosis pada kedalaman 50 cm pada sumbu y dengan sumber sinar <i>gamma</i> berenergi (a) 100 keV, (b) 1 MeV, (c) 10 MeV, dan (d) 100 MeV berjumlah $10^5$ partikel. . . . .	33
4.7	Grafik PDD lapisan dengan kedalaman 50 cm pada sumbu y terhadap kedalaman z dengan sumber sinar <i>gamma</i> dengan energi (a) 100 keV, (b) 1 MeV, (c) 10 MeV, dan (d) 100 MeV berjumlah $10^5$ partikel. . . . .	34

4.8 Grafik logaritmik posisi $D_{max}$ terhadap besar energi. . . . .	35
---	----

## DAFTAR TABEL

2.1 Data material yang digunakan . . . . .	18
--	----

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bidang medis menjadi salah satu bidang dengan kebutuhan teknologi yang tinggi. Manusia harus dapat melakukan observasi secara langsung agar mempermudah mendapatkan informasi. Namun, hingga saat ini kita belum memiliki teknologi yang cukup canggih untuk dapat melakukan observasi secara langsung pada bagian-bagian makhluk hidup. Ilmu yang berfokus terhadap bidang ini disebut anatomi. Salah satu penyakit yang paling membutuhkan observasi secara langsung dalam penanganannya adalah kanker atau tumor. Seseorang dinyatakan memiliki kanker atau tumor ketika terdapat perkembangan sel yang berlebihan pada salah satu bagian tubuh atau organ. Menurut Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI dalam laporannya menyatakan pada tahun 2013 terdapat 347,792 kasus kanker di Indonesia. Dengan adanya pemindaian dan pengobatan terhadap para penderita kanker, jumlah kematian yang tercatat hanya 570 jiwa[7]. Jumlah ini menyatakan bahwa pengobatan kanker merupakan hal yang sangat penting karena selain memberikan gambaran struktur tubuh, pengobatan tersebut juga bisa membunuh sel-sel merugikan pada tubuh tanpa melakukan operasi seperti sel kanker atau tumor. “Radioterapi” merupakan sebutan bagi pengobatan yang menggunakan partikel-partikel kecil seperti elektron atau gelombang elektromagnetik untuk membunuh sel kanker atau tumor.

Terdapat beberapa jenis radioterapi yang umum digunakan pada bidang medis. Jenis radioterapi pertama disebut sebagai radioterapi eksternal yang bekerja dengan cara memancarkan foton atau partikel dari luar tubuh pasien. Teknik ini harus memperhitungkan dosis dan jenis partikel yang tepat dalam penanganannya. Jenis yang kedua adalah radioterapi internal atau *brachytherapy* yang bekerja dengan memasukkan zat radioaktif ke bagian yang terkena kanker. Radiasi dari zat tersebut dapat membunuh sel-sel kanker. Tingkat keefektifan *brachytherapy* merupakan yang tertinggi, namun kesulitan terbesar terdapat pada penempatan zat tersebut. Selain itu resiko atau efek samping dari pengobatan ini cukup berbahaya. Jenis radioterapi yang ketiga disebut radioterapi sistemik, radioterapi yang bekerja dengan memanfaatkan aliran darah pada tubuh manusia. Obat disuntikkan melalui pembuluh darah yang kemudian akan dialirkan ke seluruh tubuh oleh darah[5].

Beberapa teknik dilakukan untuk mengoptimalkan hasil dari radioterapi. Teknik pertama disebut radiasi 3 dimensi dimana yang merupakan syarat utama dari radioterapi eksternal. Teknik ini digunakan untuk memperhitungkan dosis dan jenis partikel yang tepat. Perhitungan dosis dilakukan pada hasil tomografi seperti *computed tomography* (CT), *magnetic resonance imaging* (MRI), *positron emission tomography* (PET) dan *single photon compute tomography* (SPECT). Teknik ini umum digunakan pada pengobatan kanker prostat, paru-paru, hati, dan terkadang otak. Ada juga teknik *stereotactic radiosurgery* yang biasa digunakan dalam pengobatan kanker pada otak. Teknik ini menggunakan alat berbentuk helm yang memancarkan radiasi dari berbagai arah. Teknik selanjutnya merupakan pengembangan dari *stereotactic radiosurgery*, yaitu *Stereotactic Radiotherapy*, hanya saja dosis radiasi yang lebih kecil serta dapat digunakan pada seluruh bagian tubuh. Teknik yang cukup baru digunakan adalah teknik *radioimmunotherapy*, dimana zat antibodi

yang berisi radiasi akan dimasukkan ke dalam tubuh pasien. Antibodi tersebut akan mencari antigen yang diproduksi kanker. Antigen tersebut dihancurkan oleh radiasi yang dibawa antibodi. Cara ini digunakan pada kasus yang membutuhkan tingkat akurasi yang tinggi seperti leukemia.

Pada skripsi ini, penulis berusaha untuk melakukan simulasi radioterapi pada suatu subjek. Simulasi ini dibutuhkan agar dapat mengetahui *output* dari radioterapi tersebut dan dapat melakukan perencanaan medis sebelum melakukan radioterapi ke tubuh pasien. Jenis radioterapi yang dibahas merupakan radioterapi eksternal dimana partikel atau foton dipancarkan mengenai tubuh pasien. Partikel-partikel dan foton yang dipancarkan akan mengalami interaksi dengan udara maupun tubuh pasien. Interaksi ini terjadi pada skala atomik, sehingga membutuhkan perhitungan khusus untuk mengetahui apa yang terjadi dengan pancaran tersebut.

Perhitungan interaksi partikel-partikel dan foton yang dipancarkan dilakukan dengan bantuan simulasi *software* Geant4. Geant4 (*Geometry and Tracking*) merupakan *software* simulasi yang dikembangkan oleh *European Organization for Nuclear Research* (CERN), sebuah organisasi terbesar yang bergerak di bidang fisika partikel. Geant4 beroperasi dengan metode *Monte Carlo*, yang menggunakan hasil yang acak secara berulang-ulang untuk mendapatkan hasil yang pasti. Metode ini digunakan pada masalah-masalah yang memiliki nilai ketidakpastian yang tinggi, dimana salah satu contohnya adalah interaksi antar partikel. Hasil dari simulasi ini dihubungkan dengan pengukuran dosis untuk mengetahui jumlah dosis yang terserap oleh subjek. Hasil pengukuran dosis yang terserap dipresentasikan dalam diagram kontur.

## 1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana interaksi yang dialami partikel mulai dari dipancarkan hingga melewati bahan?
- Bagaimana cara menentukan dosis radiasi menggunakan simulasi?
- Bagaimana membuat diagram kontur dan diagram *percentage depth dose* dari hasil pengukuran dosis?
- Bagaimana pengaruh variasi jumlah partikel dan besar energi terhadap distribusi dosis?

## 1.3 Tujuan

- Menjelaskan interaksi yang dialami partikel mulai dari dipancarkan hingga melewati bahan dengan bantuan simulasi.
- Menentukan dosis radiasi menggunakan simulasi.
- Membuat diagram kontur dan diagram *percentage depth dose* dari hasil dosis yang diserap.
- Mengetahui pengaruh variasi jumlah partikel dan besar energi terhadap distribusi dosis.

## 1.4 Batasan Masalah

- Jenis radioterapi yang dibahas merupakan radioterapi eksternal menggunakan sinar *gamma* sebagai partikel yang dipancarkan.
- Simulasi dilakukan pada kondisi normal tanpa ada gangguan dari luar.
- Subjek simulasi merupakan *water phantom* berbentuk kotak yang terbagi atas sekat-sekat sel pada sumbu X, Y, dan Z.

---

## 1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari 4 bab. Bab 1 merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika pembahasan. Bab 2 merupakan dasar teori yang terdiri dari pembahasan atom, jenis partikel, interaksi partikel dengan bahan, pengukuran absorpsi dosis, perencanaan klinis pada radioterapi eksternal, serta hubungan antara interaksi partikel dengan absorpsi dosis. Bab 3 merupakan metode penelitian yang terdiri dari penentuan geometri, penentuan sumber energi, perhitungan energi dan absorbtansi, dan visualisasi. Bab 4 berisi hasil dan analisis pembahasan yang terdiri dari pembahasan diagram kontur dengan variasi jumlah partikel, grafik PDD, dan diagram kontur dengan variasi besar energi. Bab 5 berisi mengenai kesimpulan dan saran.