

***Analisis Percentage Depth Dose dan Profile Dose untuk  
Treatment Planning System pada Pesawat Linac Elekta  
SL-25 menggunakan PHITS Versi 3.35***

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat Sarjana S1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Diza Zafira Zukhruf

21106020017

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA**

**YOGYAKARTA**

**2025**

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1837/Un.02/DST/PP.00.9/08/2025

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Percentage Depth dose dan Profile Dose untuk Treatment Planning System pada Pesawat Linac Elekta-SL 25 menggunakan PHITS Versi 3.35

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : DIZA ZAFIRA ZUKHRUF  
Nomor Induk Mahasiswa : 21106020017  
Telah diujikan pada : Selasa, 12 Agustus 2025  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si  
SIGNED

Valid ID: 68a5c78625488



Penguji I

Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.

SIGNED

Valid ID: 68a567ca83952

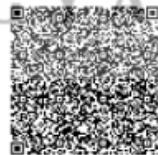


Penguji II

Andi, M.Sc.

SIGNED

Valid ID: 68a3b22e0d98b



Yogyakarta, 12 Agustus 2025

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.

SIGNED

Valid ID: 68a71fd06ca68

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Diza Zafira Zukhruf

NIM : 21106020017

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "*Analisis Percentage Depth Dose dan Profile Dose untuk Treatment Planning System pada Pesawat Linac menggunakan PHITS Versi 3.35*" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 7 Agustus 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJARA  
YOGYAKARTA



Diza Zafira Zukhruf  
NIM. 21106020017

## SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

### SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : DIZA ZAFIRA ZUKHRUF  
NIM : 21106020017  
Judul Skripsi : Analisis Percentage Depth Dose dan Profile Dose untuk Treatment Planning System pada Pesawat Linac Elekta SL-25 menggunakan PHITS Versi 3.35

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 7 Agustus 2025

Pembimbing I

  
Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si.  
NIP. 19820126 200801 2 008

Pembimbing II

  
Fajar Arianto, S.Si., M.Si.  
NIP. 19860801 202104 1 001

## MOTTO

**Life** is like riding a bicycle.  
To keep your balance, you must  
**KEEP MOVING.**



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
**SUNAN KALIJAGA**  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Dengan mengucapkan syukur alhamdulillah kepada Allah SWT yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan ketekunan dalam menegrikan tugas akhir ini, karya ini*

*Saya persembahkan untuk:*

*Kedua orang tua saya yang senantiasa sabar, selalu memberikan semangat, motivasi untuk tidak pernah menyerah, memberikan perhatian lebih, selalu memberikan kasih sayang dan tidak pernah lupa mendoakan kesuksesan dan yang terbaik untuk anak-anaknya.*

*Kedua Adik saya Heinze Zafira Zukhruf dan Gibran Hayyu Al-Haq yang sama-sama berjuang menggapai cita-cita dan menjadi kebanggaan keluarga .*

*Kepada Bude dan Pakde yang selalu support saya dalam berbagai hal.*

*Kepada Ibu dan Bapak Dosen Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya dan mendidik saya menjadi mahasiswa yang lebih baik, semoga ilmu yang diberikan akan menjadi bermanfaat untuk banyak orang.*

*Almamater Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta*



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur atas kehadiran Allah Swt. atas segala rahmatnya penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Percentage Depth Dose* dan *Profile Dose* untuk *Treatment Planning System* pada Pesawat Linac Elekta SL-25 menggunakan PHITS Versi 3.35” dengan baik. Shalawat dan salam semoga tetap tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad Saw. Semoga kelak kita memperoleh syafaatnya.

Penyusunan skripsi ini menjadi bagian dari tanggung jawab penulis dalam menyelesaikan studi serta sebagai syarat kelulusan. Harapan penulis, skripsi ini dapat memberikan manfaat dan berkah bagi pihak-pihak terkait. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, sepantasnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Eko Purwadi dan Ibu Sri Setyowati, serta adik penulis Heinze Zafira Zukhruf dan Gibran Hayyu Al-Haq. Terima kasih atas segala do'a, dukungan, serta kasih sayang yang selalu diberikan.
2. Bapak Prof. Noorhaidi Hasan, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D. selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

5. Ibu Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama dalam penelitian tugas akhir ini, terima kasih atas waktu, bimbingan, dan nasihat yang telah diberikan.
6. Bapak Fajar Arianto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua dalam penelitian ini. Bimbingan dan masukan beliau sangat berarti selama pelaksanaan penelitian ini.
7. Seluruh pihak yang telah memberi bantuan.

Yogyakarta, 8 Agustus 2025

Penulis



# ***Analisis Percentage Depth Dose dan Profile Dose untuk Treatment Planning System pada Pesawat Linac Elekta SL-25 menggunakan PHITS Versi 3.35***

**Diza Zafira Zukhruf**

**21106020017**

## **INTISARI**

*Linac* adalah perangkat radioterapi eksternal yang menghasilkan berkas foton berenergi tinggi untuk membunuh sel kanker. Penggunaan radiasi pengion seperti sinar-X pada *Linac* dapat menyebabkan akumulasi dosis pada jaringan yang terkena radiasi. Evaluasi dosis yang terakumulasi dilakukan melalui analisis kurva PDD dan *profile dose*, yang menjadi landasan utama dalam perhitungan dosis yang akurat dalam melaksanakan *Treatment Planning System* (TPS). Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat geometri pada perangkat terapi *Linac* Elekta SL-25, menganalisis bentuk kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) dan *profile dose* berdasarkan hasil simulasi menggunakan PHITS versi 3.35. Geometri *Linac* yang dimodelkan berupa komponen utama *Linac* yaitu, target, *primary collimator*, *secondary collimator*, *flattening filter*, dan *ion chamber*. Analisis bentuk kurva PDD dan *profile dose* menggunakan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , *water phantom*  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ , dan menggunakan teknik penyinaran SSD 100 cm. Pemodelan geometri pada perangkat terapi *Linac* Elekta SL-25 menggunakan PHITS versi 3.35 telah berhasil dilakukan. Kurva PDD menunjukkan daerah *build up* yang terjadi pada kedalaman 1,5 cm dan 2,5 cm, masing-masing untuk energi *Linac* 6 MV dan 10 MV. Kurva *profile dose* pada variasi energi *Linac* 6 MV dan 10 MV menunjukkan nilai persentase *flatness* yaitu sebesar 2,3% dan 3%. Nilai *symmetry* pada variasi energi *Linac* sebesar 0,001% dan 0,38%. Nilai penumbra sebelah kiri dan kanan pada variasi energi *Linac* sebesar 6 MV dan 10 MV adalah 20 mm.

**Kata Kunci:** *Linac, Percentage Depth Dose, PHITS, profile dose, Treatment Planning System.*

***Analysis Percentage Depth Dose and Profile Dose for Treatment  
Planning System on Linac Elekta SL-25 Aircraft using PHITS  
Version 3.35***

**Diza Zafira Zukhruf  
21106020017**

**ABSTRACT**

*Linac is an external radiotherapy device that produces high-energy photon beams to destroy cancer cells. The use of ionizing radiation, such as X-rays in a Linac, can cause the accumulation of dose in tissues exposed to radiation. The evaluation of the accumulated dose is carried out through the analysis of Percentage Depth Dose (PDD) curves and profile dose curves, which serve as the main foundation for accurate dose calculations in the implementation of the Treatment Planning System (TPS). The purpose of this study is to model the geometry of the Elekta SL-25 Linac treatment device and analyze the PDD and profile dose curves based on simulation results using PHITS version 3.35. The modeled Linac geometry includes only the main components, namely the target, primary collimator, secondary collimator, flattening filter, and ion chamber. The PDD and profile dose analyses were performed using a  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  field size, a  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$  water phantom, and a Source-to-Surface Distance (SSD) technique of 100 cm. The geometry modeling of the Elekta SL-25 Linac using PHITS version 3.35 was successfully carried out. The PDD curve shows a build-up region occurring at depths of 1.5 cm and 2.5 cm for 6 MV and 10 MV Linac energies, respectively. The profile dose curves for 6 MV and 10 MV Linac energies show flatness percentages of 2.3% and 3%, respectively. The symmetry values for the Linac energy variations are 0.001% and 0.38%. The left and right penumbra values for the 6 MV and 10 MV Linac energies are both 20 mm.*

**Keywords:** *Linac, Percentage Depth Dose, PHITS, profile dose, Treatment Planning System*

## DAFTAR ISI

|                                                                          |             |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TUGAS AKHIR .....</b>                                                 | <b>i</b>    |
| <b>PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....</b>                                       | <b>ii</b>   |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....</b>                           | <b>iii</b>  |
| <b>SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI .....</b>                                   | <b>iv</b>   |
| <b>MOTTO .....</b>                                                       | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>                                         | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                               | <b>vii</b>  |
| <b>INTISARI .....</b>                                                    | <b>ix</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                    | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                | <b>xiv</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                            | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                                                  | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                                 | 7           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                               | 8           |
| 1.4 Batasan Penelitian.....                                              | 8           |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                              | 8           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                                      | <b>10</b>   |
| 2.1 Studi Pustaka.....                                                   | 10          |
| 2.2 Landasan Teori.....                                                  | 14          |
| 2.2.1 Radiasi.....                                                       | 14          |
| 2.2.2 Radioterapi.....                                                   | 16          |
| 2.2.3 <i>Linear Accelerator (Linac)</i> .....                            | 17          |
| 2.2.4 <i>Percentage Depth Dose (PDD)</i> .....                           | 24          |
| 2.2.5 <i>Profile Dose</i> .....                                          | 26          |
| 2.2.6 <i>Particle and Heavy Ion Transport Code System (PHITS)</i> .....  | 27          |
| 2.2.7 <i>International Atomic Energy Agency (IAEA)</i> .....             | 32          |
| 2.2.8 <i>American Association of Physicists in Medicine (AAPM)</i> ..... | 34          |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                                   | <b>36</b>   |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....                                         | 36        |
| 3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....                                          | 36        |
| 3.2.1 Perangkat Keras .....                                                  | 36        |
| 3.2.2 Perangkat Lunak .....                                                  | 36        |
| 3.2.3 Bahan .....                                                            | 37        |
| 3.3 Prosedur Penelitian .....                                                | 37        |
| 3.3.1 Studi Pustaka.....                                                     | 38        |
| 3.3.2 Pengumpulan Data .....                                                 | 39        |
| 3.3.3 Proses Kode Input.....                                                 | 39        |
| 3.3.4 Pemodelan Geometri <i>Linac</i> dan <i>Water Phantom</i> .....         | 39        |
| 3.3.5 <i>Running PHITS</i> .....                                             | 40        |
| 3.3.6 <i>Output PHITS</i> .....                                              | 40        |
| 3.3.7 Analisis Kurva PDD .....                                               | 41        |
| 3.3.8 Analisis Kurva <i>Profile Dose</i> .....                               | 41        |
| 3.4 Metode Analisa Data.....                                                 | 41        |
| 3.4.1 Analisis Geometri <i>Linac</i> .....                                   | 41        |
| 3.4.2 Analisis Penentuan Kurva PDD.....                                      | 42        |
| 3.4.3 Analisis Penentuan Kurva <i>Profile Dose</i> .....                     | 43        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                     | <b>46</b> |
| 4.1 Pemodelan Geometri <i>Linac</i> Elekta SL-25 .....                       | 46        |
| 4.2 Kurva <i>Percentage Depth Dose (PDD)</i> <i>Linac</i> Elekta SL-25 ..... | 51        |
| 4.3 Kurva <i>Profile Dose Linac</i> Elekta SL-25.....                        | 54        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>                                                    | <b>60</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                          | 60        |
| 5.2 Saran .....                                                              | 61        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                   | <b>62</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                         | <b>67</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2.1</b> Studi pustaka .....                                                               | 13 |
| <b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini.....                         | 36 |
| <b>Tabel 3.2</b> Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian .....                             | 36 |
| <b>Tabel 3.3</b> Bahan yang digunakan dalam penelitian.....                                        | 37 |
| <b>Tabel 3.4</b> Komponen kepala <i>Linac</i> Elekta SL-25 (Xie, 2021).....                        | 42 |
| <b>Tabel 4.1</b> Nilai kedalaman maksimum dan referensi .....                                      | 54 |
| <b>Tabel 4.2</b> Nilai persentase kerataan berkas radiasi ( <i>flattnes</i> ) .....                | 56 |
| <b>Tabel 4.3</b> Besarnya nilai <i>symmetry</i> .....                                              | 57 |
| <b>Tabel 4.4</b> Nilai penumbra pada <i>profile dose</i> menggunakan energi 6 MV dan 10<br>MV..... | 58 |

## DAFTAR GAMBAR

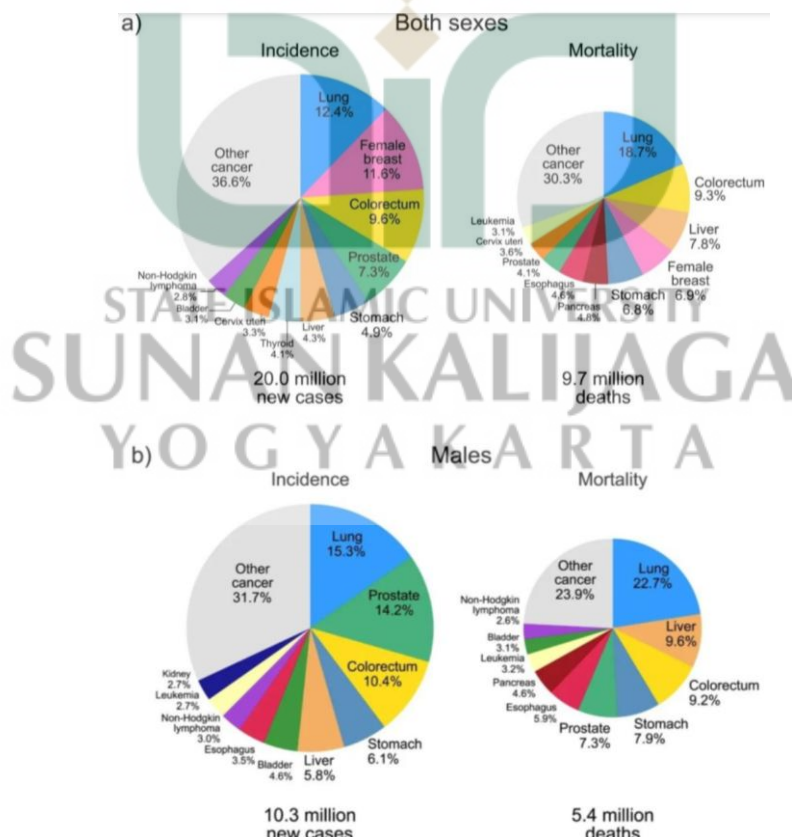
|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 1.1</b> (a) Diagram lingkaran menunjukkan distribusi kasus dan kematian pada tahun 2022 (b) Kasus kematian pada laki-laki (c) Kasus kematian pada perempuan (Bray dkk., 2024)..... | 2  |
| <b>Gambar 2.1</b> <i>Linac</i> Elekta SL-25 (Boztosun dkk., 2015) .....                                                                                                                      | 18 |
| <b>Gambar 2.2</b> Proses terbentuknya sinar-X bremsstrahlung (Akhadi, 2020).....                                                                                                             | 20 |
| <b>Gambar 2.3</b> Proses terjadinya sinar-x karakteristik (Akhadi, 2020) .....                                                                                                               | 21 |
| <b>Gambar 2.4</b> Komponen <i>Linac</i> medis (Ooi dkk., 2004) .....                                                                                                                         | 22 |
| <b>Gambar 2.5</b> Mekanisme operasi <i>Linac</i> medis (Puspitasari, 2020) .....                                                                                                             | 23 |
| <b>Gambar 2.6</b> Pengukuran pengaturan untuk PDD (Sruti dkk., 2015).....                                                                                                                    | 25 |
| <b>Gambar 2.7</b> Kurva PDD terhadap kedalaman (Podgorsak, 2005).....                                                                                                                        | 25 |
| <b>Gambar 2.8</b> Daerah <i>profile dose</i> dari suatu berkas radiasi (Podgorsak, 2005) ...                                                                                                 | 27 |
| <b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian .....                                                                                                                                              | 37 |
| <b>Gambar 3.2</b> Komponen kepala <i>Linac</i> Elekta SL-25 (Xie, 2021) .....                                                                                                                | 40 |
| <b>Gambar 3.3</b> Model geometris <i>water phantom</i> (Priskila & Manik, 2024) .....                                                                                                        | 40 |
| <b>Gambar 3.4</b> Daerah <i>flatness</i> pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ (Podgorsak, 2005).....                                                                                    | 44 |
| <b>Gambar 3.5</b> Daerah <i>symmetry</i> pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ (Podgorsak, 2005) ..                                                                                      | 44 |
| <b>Gambar 3.6</b> Daerah penumbra pada foton (Podgorsak, 2005) .....                                                                                                                         | 45 |
| <b>Gambar 4.1</b> Hasil pemodelan kepala <i>Linac</i> dan <i>water phantom</i> .....                                                                                                         | 46 |
| <b>Gambar 4.2</b> Distribusi fluks foton energi 6 MV.....                                                                                                                                    | 49 |
| <b>Gambar 4.3</b> Distribusi fluks foton energi 10 MV.....                                                                                                                                   | 49 |
| <b>Gambar 4.4</b> Kurva PDD <i>Linac</i> 6 MV.....                                                                                                                                           | 52 |
| <b>Gambar 4.5</b> Kurva PDD <i>Linac</i> 10 MV.....                                                                                                                                          | 52 |
| <b>Gambar 4.6</b> Kurva <i>profile dose</i> <i>Linac</i> 6 MV dan 10 MV .....                                                                                                                | 55 |

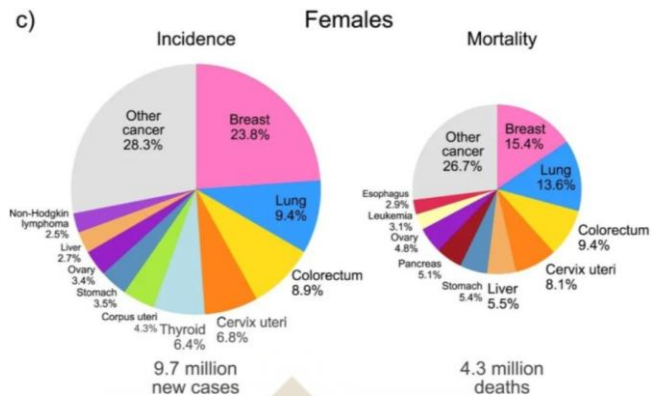
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menurut *World Health Organisation* (WHO), angka kejadian kanker terus meningkat setiap tahun dan masih menjadi masalah kesehatan di berbagai negara berkembang maupun negara maju. Hal ini disebabkan karena angka penderita kanker yang tinggi berkontribusi terhadap kesehatan serta berpengaruh pada kualitas hidup pasien. Selain menjadi hambatan penting untuk meningkatkan kualitas hidup pasien, kanker berhubungan dengan dampak sosial maupun dampak ekonomi yang bervariasi dalam berbagai tingkatan diantara jenis kanker (Bray dkk., 2024).





**Gambar 1.1** (a) Diagram lingkaran menunjukkan distribusi kasus dan kematian pada tahun 2022 (b) Kasus kematian pada laki-laki (c) Kasus kematian pada perempuan (Bray dkk., 2024)

Menurut *global cancer statistic* (2022), kejadian penyakit kanker yang ada di dunia diperkirakan mencapai 20 juta kasus baru diantaranya kanker paru-paru sebesar 12,4%, kanker payudara sebesar 11,6%, kanker kolorektum sebesar 9,6%, dan diikuti dengan kanker-kanker lainnya seperti yang disajikan gambar 1.1. Kasus kematian yang disebabkan oleh kanker mencapai 9,7 juta kasus. Kanker yang paling utama menyebabkan kematian pada laki-laki yaitu kanker paru-paru dan pada perempuan yaitu kanker payudara. Kanker adalah suatu kondisi yang disebabkan oleh pertumbuhan abnormal dari sel jaringan tubuh yang akhirnya berubah menjadi kanker dan dapat menyebabkan kematian (Nurhayati & Mulyaningsih, 2020).

Faktor penyebab kanker dapat berasal dari internal maupun eksternal. Faktor internal terutama dari keberadaan gen dan onkogen. Faktor eksternal termasuk penularan *Human Papilloma Virus* (HPV) yang disebabkan oleh kontak seksual dengan orang di bawah umur 20 tahun, sehingga terjadi iritasi virus menyebabkan pertumbuhan sel yang tidak terkendali ke jaringan lainnya, yang dikenal sebagai metastasis (Sjafaraenan dkk., 2019).

Dalam hal ini mengenai penyakit telah dijelaskan dalam firman Allah SWT yang tertera dalam Al-Qur'an. Salah satunya terdapat dalam Q.S. Yunus ayat 107:

وَإِنْ يَمْسَسْكَ اللَّهُ بِضُرٍّ فَلَا كَاشِفَ لَهُ إِلَّا هُوَ ۚ وَإِنْ يُرِدْكَ بِخَيْرٍ فَلَا رَادَّ لِفَضْلِهِ يُصِيبُ بِهِ مَنْ يَشَاءُ مِنْ عِبَادِهِ وَهُوَ الْغَفُورُ الرَّحِيمُ ١٠٧

Wa iy yamsaskallāhu biḍurrin fa lā kāsyifa lahū illā huw, wa iy yuridka bikhairin fa lā rādda lifaḍlih, yuṣību bihī may yasyā'u min 'ibādih, wa huwal-gafūrur-raḥīmraḥimīn (Yunus:107)

Artinya: “Dan jika Allah menimpakan suatu bencana kepadamu, maka tidak ada yang dapat menghilangkannya kecuali Dia. Dan jika Allah menghendaki kebaikan bagi kamu, maka tidak ada yang dapat menolak karunia-Nya. Dia memberikan kebaikan kepada siapa saja yang Dia kehendaki di antara hamba-hamba-Nya. Dia Maha Pengampun, Maha Penyayang.”

Menurut Tafsir Ibnu Katsir (2000), ayat ini menjelaskan bahwa segala bentuk penyakit dan kemudaratannya adalah atas izin Allah, dan Allah pula yang memiliki kuasa untuk menyembuhkan serta memberikan kebaikan. Dalam konteks modern, ayat ini bukanlah ajakan untuk meninggalkan ikhtiar medis, melainkan penegasan bahwa segala hasil dari terapi baik tradisional maupun modern seperti operasi, kemoterapi, radioterapi tetap berada di bawah kehendak dan kuasa Allah SWT.

Tafsir Al-Maraghi (2001) menambahkan bahwa ayat ini memotivasi manusia untuk tetap melakukan usaha maksimal melalui pengobatan dan teknologi kesehatan yang tersedia, sembari meyakini bahwa kesembuhan hakikatnya berasal dari Allah SWT. Hal ini sejalan dengan konsep ikhtiar medis dalam islam, yang mengajarkan bahwa memanfaatkan teknologi kedokteran modern adalah bentuk tanggung jawab manusia atas kesehatan dirinya, sementara hasil akhir dari proses terapi tetap ditentukan oleh Allah SWT. Oleh karena itu, dalam penelitian tentang metode terapi modern seperti radioterapi pada pasien kanker ayat ini menjadi landasan filosofis bahwa penggunaan teknologi medis merupakan bagian dari

ikhtiar manusia, yang tetap harus diiringi dengan doa, keyakinan, dan tawakal kepada Allah SWT.

Metode pengobatan penyakit kanker dikenal dalam dunia medis diantaranya yaitu operasi, kemoterapi, dan radioterapi (Ramdani dkk., 2015). Radioterapi adalah prosedur medis yang menggunakan radiasi pengion untuk merusak sel kanker pada pasien, dengan tujuan mengobati kanker. Prosedur ini umumnya dilakukan dalam ruang medis yang terkontrol. Jenis radioterapi dapat dibagi menjadi dua yaitu radioterapi internal dan radioterapi eksternal. Radioterapi internal merupakan jenis metode pengobatan menggunakan bahan radioaktif yang di tempatkan tepat pada tumor atau di sekitar tumor. Radioterapi internal biasa disebut juga dengan brakiterapi. Radioterapi eksternal menggunakan sumber radiasi berjarak jauh dari tubuh pasien, adalah salah satu metode pengobatan yang menggunakan berkas foton atau partikel berenergi tinggi. Contoh dari perangkat yang digunakan untuk radioterapi eksternal adalah *Linear accelerator (Linac)* (Winarno, 2021).

*Linac* adalah alat yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan pergerakan elektron. Elektron yang bermuatan dipercepat melalui pemberian medan listrik dan medan magnet sehingga mencapai kecepatan yang sangat tinggi. Elektron yang telah dipercepat ini dapat digunakan untuk menghasilkan sinar-X berenergi tinggi. Sinar-X yang dihasilkan biasanya memiliki variasi energi 6 MV dan 10 MV. Selain itu, *Linac* juga mampu menghasilkan berkas elektron dengan energi yang bervariasi, 4 MeV, 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV, 15 MeV, dan 18 MeV. Sinar-X digunakan untuk memancarkan radiasi ke jaringan dalam, seperti kanker payudara,

kanker serviks, dan kanker nasofaring, sedangkan berkas elektron digunakan khususnya untuk kasus kanker kulit (Puspitasari, 2020).

Penggunaan radiasi pengion seperti sinar-X dan berkas elektron pada *Linac* dapat menyebabkan akumulasi dosis pada jaringan yang terkena radiasi. Evaluasi dosis yang terakumulasi dilakukan melalui analisis kurva PDD dan *profile dose*, yang menjadi landasan utama dalam perhitungan dosis yang akurat dalam melaksanakan *Treatment Planning System* (TPS) (Prasetyo, 2012). TPS berfungsi untuk melihat bentuk kanker, organ kirtis sekitar kanker dan distribusi dosis radiasi yang diterima kanker sebelum diberikan penyinaran sehingga dapat mengoptimalkan pemberian dosis radiasi (Wulandari dkk., 2022). *Percentage Depth Dose* (PDD) merupakan parameter untuk dapat menganalisis berkas keluaran (Priskila & Manik, 2024). PDD bertujuan untuk melihat distribusi dosis dan dosis maksimum yang akan diterima *phantom* pada sumbu-z. *Profile dose* dapat digambarkan sebagai kurva yang menunjukkan bentuk muka sinar pada sumbu horizontal yang tegak lurus dari arah datangnya sinar (Khiftiyah dkk., 2014). *Profile dose* dipengaruhi oleh tiga parameter yaitu *symmetry*, *flatness*, dan penumbra (Podgorsak, 2005).

Penelitian mengenai pengukuran nilai PDD telah dilakukan Priskila & Manik (2024) menggunakan pesawat *Linac* dengan variasi ukuran lapangan yang digunakan adalah  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ,  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ . Penyinaran dilakukan dengan berkas foton 15MV dengan teknik penyinaran SSD 100 cm. Selain itu, Setiawan & Manik (2024) menggunakan modalitas terapi radiasi adalah *Linac*. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai PDD pada dosis maksimum pada

suatu kedalaman *water phantom* berukuran  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ . Variasi energi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah berkas foton 6 MV dan 10 MV. Penelitian mengenai pengukuran nilai PDD dan *profile dose* telah dilakukan oleh Bilalodin & Abdullatif (2022) menggunakan pesawat *Linac* Siemens Primus dengan menggunakan *water phantom* ukuran  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ . Wulandari dkk (2022) melakukan penelitian mengenai distribusi dosis radiasi berdasarkan variasi kedalaman dan luas lapangan penyinaran pada *phantom* menggunakan pesawat *Linac* tipe Clinac-CX. Kurva isodosis dibuat menggunakan data PDD dan *profile dose* dari hasil menggunakan *blue phantom* pada berkas foton 6 MV dan 10 MV pada kedalaman 5 cm hingga 30 cm luas lapangan penyinaran  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  hingga  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ . Selanjutnya Hasanah dkk (2020) melakukan penelitian mengenai analisa kurva PDD dan *profile dose* menggunakan pesawat *Linac* varian Clinac-CX dengan energi elektron sebesar (4, 6, 9, 12, dan 15) MeV, Luas lapangan penyinaran yang digunakan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  untuk pengukuran PDD, sedangkan untuk *profile dose* luas lapangan penyinaran yang digunakan yaitu  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan  $25 \times 25 \text{ cm}^2$  serta menggunakan teknik penyinaran SSD 100 cm.

Berdasarkan beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan sebelumnya, belum terdapat penelitian yang secara spesifik melakukan analisis PDD dan *profile dose* pada pesawat *Linac* Elekta SL-25 menggunakan PHITS versi 3.35. Oleh karena itu akan dilakukan sebuah pemodelan geometri pada perangkat *Linac* Elekta SL-25, menganalisa bentuk kurva PDD dan *profile dose*. Penelitian ini akan menggunakan *Linac* Elekta SL-25 karena memiliki kapasitas untuk menghasilkan berbagai tingkat energi radiasi, mulai dari 6 MV hingga 18 MV. Kapasitas untuk

menghasilkan berbagai tingkatan energi memungkinkan perangkat *Linac* Elekta SL-25 dapat menangani berbagai jenis kanker dengan kedalaman yang berbeda. Hal ini dapat berfungsi untuk pengobatan tumor yang lebih dalam dengan pengobatan yang lebih efektif. *Linac* Elekta SL-25 merupakan salah satu perangkat *Linac* yang banyak digunakan secara global.

Penelitian ini menggunakan PHITS karena dapat mensimulasikan distribusi dosis, shielding, modalitas terapi, dan sebagainya. PHITS memiliki kemampuan simulasi 3D yang memungkinkan pengguna untuk membangun model geometris secara rinci dan realistis, baik dalam bentuk sederhana maupun kompleks. PHITS terintegrasi dengan perangkat visualisasi seperti ANGEL yang memungkinkan visualisasi dalam bentuk grafik atau animasi. PHITS terkenal dengan akurasi dalam memodelkan transportasi partikel berenergi tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka dapat dirumuskan permasalahan yang akan diteliti. Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pemodelan geometri pada perangkat terapi *Linac* Elekta SL-25 menggunakan PHITS versi 3.35?
2. Bagaimana bentuk kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) *Linac* Elekta SL-25 berdasarkan hasil simulasi menggunakan PHITS versi 3.35?
3. Bagaimana bentuk kurva *profile dose* *Linac* Elekta SL-25 berdasarkan hasil simulasi menggunakan PHITS versi 3.35?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Membuat dan menganalisis pemodelan geometri pada perangkat terapi *Linac* Elekta SL-25 menggunakan PHITS versi 3.35.
2. Menganalisis bentuk kurva *Percentage Depth Dose* (PDD) *Linac* Elekta SL-25 berdasarkan hasil simulasi menggunakan PHITS versi 3.35.
3. Menganalisis bentuk kurva *profile dose* *Linac* Elekta SL-25 berdasarkan hasil simulasi menggunakan PHITS versi 3.35.

### 1.4 Batasan Penelitian

Pada implementasi tujuan penelitian tersebut, maka diperlukan batasan penelitian dengan maksud agar penelitian dapat fokus terhadap rumusan masalah. Berikut ini merupakan batasan penelitian yang akan dilakukan:

1. Energi yang digunakan yaitu energi foton sebesar 6 MV dan 10 MV.
2. *Water phantom* yang dibuat berbentuk kubus berukuran  $40 \times 40 \times 40 \text{ cm}^3$ .
3. Luas lapangan yang digunakan adalah  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ .
4. Menggunakan teknik penyinaran *Source Surface Distance* (SSD) 100 cm searah sumbu utama (sumbu z).

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa manfaat diantaranya:

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk *treatment planning system* (TPS) dalam pengobatan kanker dengan teknik radioterapi menggunakan *Linac* Elekta SL-25.

2. Menambah pengetahuan dan pemahaman mengenai perencanaan terapi radiasi menggunakan simulasi PHITS untuk memprediksi hasil pengobatan sebelum benar-benar diterapkan pada pasien, sehingga dapat di adaptasi dengan lebih baik sesuai dengan kondisi spesifik pasien.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, sebagai berikut:

1. Pemodelan geometri pada perangkat terapi *Linac* Elekta SL-25 menggunakan PHITS versi 3.35 telah berhasil dilakukan. Geometri *Linac* yang dibuat terdiri dari sumber elektron, target, *primary collimator*, *secondary collimator*, *flattening filter*, dan *ion chamber*. Hasil simulasi dengan menggunakan energi *Linac* 6 MV dan 10 MV menghasilkan distribusi fluks foton yang sesuai dengan karakteristik *Linac*, dimana intensitas fluks tertinggi terletak di *central axis* dan menurun secara bertahap ke arah lateral akibat adanya efek kolimasi dan penyebaran berkas radiasi foton.
2. Kurva PDD menunjukkan daerah *build up* yang terjadi pada kedalaman 1,5 cm dan 2,5 cm, masing-masing untuk energi *Linac* 6 MV dan 10 MV. Berdasarkan nilai dosis maksimum, kedua variasi energi energi *Linac* dapat digunakan sesuai dengan letak kedalaman kanker. Persentase dosis radiasi menurun seiring bertambahnya kedalaman akibat adanya efek atenuasi dan penurunan intensitas berkas radiasi. Nilai dosis radiasi tertinggi pada variasi energi *Linac* 6 MV dan 10 MV secara berturut-turut adalah 1,9354 Gy/sumber dan 6,9216 Gy/sumber.
3. Kurva *profile dose* menunjukkan kurva yang rata dengan variasi energi *Linac* sebesar 6 MV dan 10 MV dengan nilai persentase *flatness* yaitu sebesar 2,3%

dan 3%. Nilai *symmetry* pada variasi energi *Linac* sebesar 6 MV dan 10 MV adalah 0,001% dan 0,38%. Nilai penumbra sebelah kiri dan kanan pada variasi energi *Linac* sebesar 6 MV dan 10 MV adalah 20 mm. Hasil *flatness* dan *symmetry* pada penelitian ini masih dalam batas toleransi yang dianjurkan yaitu 3%. Namun hasil penumbra pada penelitian ini melewati batas toleransi yang dianjurkan yaitu 10 mm – 15 mm.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk pelaksanaan penelitian serupa maupun pengembangan lebih lanjut, diantaranya yaitu:

1. Dimensi voxel pada *water phantom* sebaiknya dibuat lebih kecil agar hasil simulasi distribusi dosis di dalam *water phantom* lebih optimal.
2. Energi yang digunakan bisa lebih divariasikan berupa 18 MV dan 25 MV.
3. Kedalaman yang digunakan untuk menganalisis *profile dose* dapat di variasikan berupa 1,5 cm, 3 cm, dan 10 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. 2020. Sinar-X Menjawab Masalah Kesehatan. In *Deepublish Publisher*.
- American Association of Physicists in Medicine. No. 47, 1994, AAPM Code of Practice for Radiotherapy Accelerators, AAPM in Medicine Publication, American Association of Physicists in Medicine
- Anam, Choirul. 2010. Simulasi Monte Carlo untuk Kontaminasi Elektron pada Berkas Sinar-X 6 MV Produksi Pesawat Linac Elekta SL15. Depok: Universitas Indonesia
- Apriantoro, N. H., Wulandari<sup>1</sup>, I., Sari, G., Riyangga, D., Kamal Murdaka, E., Wellyam, P. P., Kurnia, T. W., Fathoni, M., & Wulandari, I. 2024. Quality Control Analysis Of Linear Accelerator Radiotherapy Device In The Department Of Radiotherapy At Pasar Minggu District Hospital. *Jurnal Ilmu Fisika*, **16(1)**, 46–54. [Http://jif.fmipa.unand.ac.id/46](http://jif.fmipa.unand.ac.id/46)
- Aryawijayanti, R; Susilo, Susilo; Sutikno, S. 2015. Analisis Dampak Radiasi Sinar-X Pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi Di Laboratorium Fisika Medik. *Jurnal Mipa*, **38(1)**, 25–30.
- Bilalodin, B., & Abdullatif, F. 2022. Modeling And Analysis Of Percentage Depth Dose (Pdd) And Dose Profile Of X-Ray Beam Produced By Linac Device With Voltage Variation. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, **8(2)**, 206. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v8i2.23622>
- Boztosun, I., Djapo, H., Karakoc, M., Özmen, S. F., Çeçen, Y., Çoban, A., Caner, T., Bayram, E., Saito, T. R., Akdoğan, T., Bozkurt, V., Kuçuk, Y., Kaya, D., & Harakeh, M. N. 2015. Photonuclear Reactions With Zinc: A Case For Clinical Linacs. *European Physical Journal Plus*, **130(9)**. <https://doi.org/10.1140/epjp/i2015-15185-2>
- Bray, F., Laversanne, M., Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Soerjomataram, I., & Jemal, A. 2024. Global Cancer Statistics 2022: Globocan Estimates Of Incidence And Mortality Worldwide For 36 Cancers In 185 Countries. *Ca: A Cancer Journal For Clinicians*, **74(3)**, 229–263. <https://doi.org/10.3322/caac.21834>
- Dowlatabadi, H., Mowlavi, A. A., Ghorbani, M., & Mohammadi, S. 2017. Monte Carlo Simulation Of Siemens Primus Plus Linac For 6 And 18 Mv Photon Beams. *Journal Of Biomedical Physics And Engineering*, **7(4)**, 333–346. <https://doi.org/10.22086/jbpe.v7i4%20dec.754>
- E. B. Podgorsak. 2005. Radiation Oncology Physics: A Handbook For Teachers

- And Students. *Journal Of Applied Clinical Medical Physics*, **5(3)**, 91–92. <https://doi.org/10.1120/Jacmp.2021.25315>
- Faiz M., K., & John P., G. 2014. *The Physics Of Radiation Therapy* (Faiz M. Khan (Ed.); Fifth Edit).
- Fitriatuzzakiyyah, N., Sinuraya, R. K., & Puspitasari, I. M. 2017. Cancer Therapy With Radiation: The Basic Concept Of Radiotherapy And Its Development In Indonesia. *Indonesian Journal Of Clinical Pharmacy*, **6(4)**, 311–320. <https://doi.org/10.15416/Ijcp.2017.6.4.311>
- Fuadi, H., & Sutanto, H. 2015. Perbandingan Pengukuran Pdd Dan Beam Profile Antara Detektor Ionisasi Chamber Dan Gafchromic Film Pada Lapangan 10 X 10 Cm. *Youngster Physics Journal*, **4(1)**, 15–22.
- Furuta, T., & Sato, T. 2021. Medical Application Of Particle And Heavy Ion Transport Code System Phits. *Radiological Physics And Technology*, **14(3)**, 215–225. <https://doi.org/10.1007/S12194-021-00628-0>
- Globocan. 2020. Indonesia – Global Cancer Observation. Diakses Pada 29 September 2024. <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/360-indonesia-fact-sheets.pdf>
- Hasanah, H., Qomariyah, N., Makmur, I. W. A., Subroto, R., & Wirawan, R. 2020. Analisa Kurva Pdd Dan Profile Dose Berkas Elektron Pesawat Linac Varian Clinac Cx. *Indonesian Physical Review*, **3(2)**, 84–92. <https://doi.org/10.29303/Ipr.V3i2.43>
- Institute of Medicine (US) Committee on Military Nutrition Research; Marriott BM, editor. *Nutritional Needs in Hot Environments: Applications for Military Personnel in Field Operations*. Washington (DC): National Academies Press (US); 1993. 5, Water Requirements During Exercise in the Heat. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK236237/>
- Jalut, L. L. S., Rupiasih, N. N., & Sardjono, Y. 2020. Analysis Of Boron Dose On Bnct Technique With Simulation Methods Using The Phits (Particle And Heavy Ion Transport Code System). *Buletin Fisika*, **21(1)**, 1–7.
- Kawrakow, I., & Rogers, D. W. O. 2003. "The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport." *National Research Council of Canada*.
- Khiftiyah, M., Hidayanto, E., & Arifin, Z. 2014. Analisa Kurva Percentage Depth Dose (Pdd) Dan Profiledose Untuk Lapangan Radiasi Simetri Dan Asimetri Padalinear Accelerator (Linac) 6 Dan 10 Mv. *Youngster Physics*, **3(4)**, 279–286.

- Kutcher, G. J., Coia, L., Gillin, M., Hanson, W. F., Leibel, S., Morton, R. J., Palta, J. R., Purdy, J. A., Reinstein, L. E., Svensson, G. K., Weller, M., & Wingfield, L. 1994. Aapm's Tg-46 Comprehensive Qa For Radiation Oncology. *Medical Physics*, **21(4)**, 581–618. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1118/1.597316>  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.597316>  
<https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1118/1.597316>
- Lestari, I. D., & Ediyono, S. 2022. Implementasi Etika Moral Mahasiswa Melalui Mata Kuliah Proteksi Radiasi Sebagai Upaya Penanganan Radiasi Nuklir. *Science, Engineering, Education, And Development Studies (Seeds): Conference Series*, **6(1)**, 79–83. <https://doi.org/10.20961/Seeds.V6i1.72401>
- Nur Dwi Prasetyo, Wahyu Setiabudi, C. A. 2012. 8022-17553-1-Pb.Pdf. *Sains Dan Matematika*, **20(4)**, 103–108.
- Nurhayati, N., & Mulyaningsih, N. N. 2020. Penerapan Radioterapi Pada Pengobatan Kanker Payudara. *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, **1(2)**, 88–94. <https://doi.org/10.30998/Sch.V1i2.3137>
- Ooi, L. S. M., Sun, S. S. M., Wang, H., & Ooi, V. E. C. 2004. New Mannose-Binding Lectin From The Rhizome Of Sarsaparilla Smilax Glabra Roxb. (Liliaceae). *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, **52(20)**, 6091–6095. <https://doi.org/10.1021/jf030837o>
- Priskila, G. V., Matana, U., Manik, J. T., Matana, U., Korespondensi, P., & Carlo, M. 2024. Analisis Dosis Berkas Foton 15 Mv Dengan Variasi Luas Lapangan Menggunakan Simulasi Monte Carlo. **3**, 354–361. <https://doi.org/10.35580/Jspf.V20i3.5323>
- Purohit, S., Mia, M. A., Rahman, M. S., Purohit, S., Kabir, S. M. E., & Meaze, A. K. M. M. H. 2019. Analysis Of Percentage Depth Dose For 6 And 15 Mv Photon Energies Of Medical Linear Accelerator With Cc13 Ionization Chamber. *Nuclear Science And Applications*, **28(1)**, 31–35. <https://www.researchgate.net/publication/342501457>
- Puspitasari, R. A. 2020. Analisis Kualitas Berkas Radiasi Linac Untuk Effektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, **22(1)**, 11. <https://doi.org/10.20473/Jbp.V22i1.2020.11-19>
- Qomariyah, N., Wirawan, R., Mardiana, L., & Hadi, K. Al. 2019. Distributions Dose Analysis For 6 Mv Photon Beams Using Monte Carlo-Geant4 Simulation. *Aip Conference Proceedings*, **2169(November)**, 0–6. <https://doi.org/10.1063/1.5132656>

- Ramdani, R., Yani, S., Rhani, M. F., Arif, I., Freddy, D., & Abstrak, H. 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 2015 (Snips 2015, 2015(Snips))*, 653–656.
- Rogers, D. W. O. 2006. "Fifty Years of Monte Carlo Simulations for Medical Physics." *Physics in Medicine and Biology*, 51(13), R287–R301
- Sardari, D., Maleki, R., & Esmaeeli, A. 2010. Monte Carlo study of photon beam characteristics in a 6 MV LINAC head. *Iranian Journal of Radiation Research*, 8(3), 149–154.
- Setiawan Leonard, M. J. T. 2024. *Analisis Perbedaan Dosis Satu Dimensi Pada Berkas Foton 6 Dan 10 Mv Menggunakan Simulasi Monte Carlo Phits*. 2(8), 211–216.
- Sjafaraenan, Johannes, E., & Wulandari, S. N. 2019. Pengaruh Interval Dosis 2,44-19,53  $\mu\text{g}/\text{Ml}$  Ekstrak N-Heksana Dari Hydroid Aglaopheniakupressina Lamoureux Terhadap Aktivitas Pertumbuhan Selhela. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 4(1), 11–19.
- Sruti, R. N., Rana, M. M., Islam, M. M., Khan, K. A., & Bhuiyan, M. M. H. 2015. Measurement Of Beam Profile Of A Linear Accelerator (Linac) For 6 And 10 Mv Photon Energies. *Nuclear Science And Applications*, 24(1), 29–32. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-3691-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3691-5_15)
- Sherwood, L. 2019. Human Physiology: From cells to Systems, 9<sup>th</sup> revised ed. In *The Neuroscientist*.
- Suharmono, B. H., Anggraini, I. Y., Hilmaniyaya, H., & Astuti, S. D. 2020. Quality Assurance (Qa) Dan Quality Control (Qc) Pada Instrumen Radioterapi Pesawat Linac. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 22(2), 73. <https://doi.org/10.20473/Jbp.V22i2.2020.73-80>
- Timothy C. Zhu, K. K.-H. W. 2013. Linear Accelerators (Linac). In *Encyclopedia Of Radiation Oncology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-85516-3>
- Tipler, P. A., & Mosca, G. 2007. Physics for Scientists and Engineers. W.H. Freeman.
- Winarno, W. 2021. Radioterapi Kanker Cervix Dengan Linear Accelerator (Linac). *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 23(2), 75. <https://doi.org/10.20473/Jbp.V23i2.2021.75-86>

- Wulandari, I., Shafii, M. A., Adrial, R., & Diyona, F. 2022. Distribusi Dosis Radiasi Foton Berdasarkan Variasi Kedalaman Dan Luas Lapangan Penyinaran Pada Fantom Menggunakan Peawat Linac Tipe Clinac Cx. *Jurnal Fisika Unand*, **11(1)**, 89–96. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.1.89-96.2022>
- Xie, K. 2021. *Monte Carlo Modeling Of Virtual Multi-Featured Single Photon Source And High- Definition Multileaf Collimator For Modern Medical Linear Accelerators*. December 2021, 1–165.

