

Skripsi Fisika

**UJI KELAYAKAN PESAWAT *LINEAR ACCELERATOR* (LINAC)
BERKAS SINAR-X 6 MV DAN 10 MV DENGAN VARIASI *SOURCE TO
SKIN DISTANCE* (SSD) DAN KEDALAMAN PADA *WATER PHANTOM***

AJI PURNOMO

H211 10 271



**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2017

**UJI KELAYAKAN PESAWAT *LINEAR ACCELERATOR* (LINAC)
BERKAS SINAR-X 6 MV DAN 10 MV DENGAN VARIASI *SOURCE TO
SKIN DISTANCE* (SSD) DAN KEDALAMAN PADA *WATER PHANTOM***

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH

AJI PURNOMO

H 211 10 271

**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2017

HALAMAN PENGESAHAN

**UJI KELAYAKAN PESAWAT *LINEAR ACCELERATOR (LINAC)*
BERKAS SINAR-X 6 MV DAN 10 MV DENGAN VARIASI *SOURCE TO SKIN DISTANCE (SSD)* DAN KEDALAMAN PADA *WATER PHANTOM***

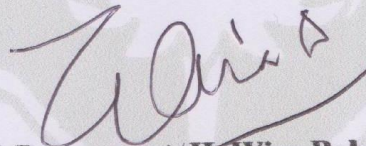
OLEH

**AJI PURNOMO
H 211 10 271**

Makassar, 15 Februari 2017

Disetujui Oleh :

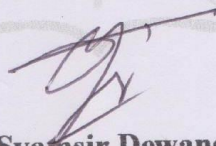
Pembimbing Utama



Prof. Dr. rer. nat. H. Wira Bahari Nurdin

NIP. 19670923 199103 1 001

Pembimbing Pertama



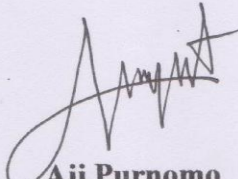
Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng. Sc

NIP. 19630111 199002 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasi atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk sesuatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya dimanapun; kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing.

Penulis



Aji Purnomo

ABSTRAK

Uji kelayakan pesawat *linear accelerator* (LINAC) telah dilakukan dengan berkas Sinar-X 6 MV dan 10 MV; variasi *source to skin distance* (SSD) 90 cm, 100 cm, dan 110 cm; kedalaman pada water phantom 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm. Adanya variasi berkas Sinar-X, SSD, dan kedalaman pada *water phantom* dimaksudkan untuk analisis *percentage depth dose* (PDD), dan *profile dose*. Dari pengujian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa Semakin besar energi yang digunakan maka jarak yang dibutuhkan untuk mencapai titik maksimum akan semakin panjang. Semakin besar energi, SSD, dan kedalaman yang digunakan maka nilai simetri dan kerataan berkas dari profil dosis akan semakin kecil. Dari ketiga SSD yang digunakan, hanya SSD 110 pada kedalaman 20 cm – 25 cm untuk energi 6 MV dan di seluruh tingkat kedalaman untuk energi 10 MV yang sesuai batas toleransi, sehingga dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam pengobatan kanker. Sedangkan pada SSD 90 dan SSD 100, nilai simetri dan kerataan berkas yang didapatkan jauh melewati batas toleransi.

Kata Kunci : Linac, PDD, profil dosis, simetri, kerataan, SSD, Sinar-X 6 dan 10 MV

ABSTRACT

Test of linear accelerator (LINAC) feasibility has been done using the X-ray beam of 6 MV and 10 MV; variation source to skin distance (SSD) are 90 cms, 100 cms, and 110 cms; the depth of the water phantom are 5 cms, 10 cms, 15 cms, 20 cms, and 25 cms. The variation of X-ray beam, SSD, and the depth of the water phantom are created for analysis of percentage depth dose (PDD) and profile dose. From the tests, it can be concluded that the more energy is used, the longer distance is required to reach the maximum point. Also the higher energy, SSD, and the depth to be used smaller the value of symmetry and flatness of the profile dose file will be. Among the three used SSD, only SSD with the distance of 110 cms and other SSD with the depth range of 20 to 25 cms for 6 MV energy and also at the whole levels of depth for 10 MV energy correspond to tolerated limit to be used in cancer treatment. The values of the beam symmetry and the flatness for SSD with 90 cms and 100 cms were obtained beyond the tolerated limit.

Keywords: *LINAC, PDD, Profile Dose, Flatness, Symmetry, SSD, X-Rays 6 and 10 MV*

KATA PENGANTAR



Assalaamu'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah *Subhanahu wa Ta'ala*, atas berkat nikmat iman, rahmat, taufiq, hidayah, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Uji Kelayakan Pesawat *Linear Accelerator (Linac)* Berkas Sinar-X 6 Mv dan 10 Mv dengan Variasi *Source to Skin Distance (SSD)* dan Kedalaman pada *Water Phantom*”*”*. Salam dan shalawat senantiasa tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad *Shalallahu 'Alaihi wa Sallam*, sebagai suri teladan bagi seluruh ummat muslimin,, begitupun juga keluarga, sahabat dan para pengikutnya yang setia menjalankan sunnahnya hingga akhir zaman.**

Penghargaan dan ucapan terima kasih sedalam-dalamnya atas segala doa, motivasi, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang merupakan syarat dalam penyelesaian studi untuk memperoleh gelar **Sarjana Sains (S.Si)** pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Teruntuk keluarga tercinta, **Ibunda Susilawaty dan Ayahanda Asmady, Ibunda Suratiyah dan Ayahanda Abdullah**, yang telah melahirkan dan membesarkan penulis dengan penuh kasih dan sayang, yang selalu sabar membimbing penulis ke jalan yang diridhai Allah, dan selalu memberikan

dukungan berupa moril, materil, dan doa. Terima kasih pula kepada kakek-nenek, saudara, ipar, dan keponakan penulis, **Mbah Slamet Ngadikem** dan **Mbah Samidjan Sukirman**, **Nenek Hawa Tallo Rara** dan **Kakek Tjiang Fu Kei**, **Nenek Bongko'**, **Kakek Khalidi**, **Mas Eko Suyatno**, **Mbak Dwi Ratna Sari**, **Mbak Try Widiarty**, **Joyo Prasetyo**, **Miranti Saputri**, **Agung Pramana**, **Kak Seni Wati**, **Kak Muhammad Eddy Yusuf**, **Kak Asdar**, **Satrio**, **Rizkika**, **Badzil**, dan **Alika**.

Dengan segala rasa ikhlas dan tulus penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. rer. nat. H. Wira Bahari Nurdin** selaku pembimbing utama, Bapak **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng. Sc** selaku pembimbing pertama, dan Bapak **Satrial Male, S.Si, M.Si** selaku pembimbing kedua yang dengan tulus dan ikhlas memberikan bimbingan, ilmu, dan arahan kepada penulis untuk selalu memberikan yang terbaik demi terselesainya skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Tasrief Surungan, M.Sc**, Ibu **Dr. Sri Suryani, DEA** dan Bapak **Bannu, S.Si, M.Si** sebagai tim penguji skripsi fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
3. Bagian Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan yang menjadi tempat penelitian penulis.
4. Bapak **Dr. Tasrief Surungan, M.Sc** selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

5. Bapak **Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc** sebagai penasehat akademik yang telah memberikan banyak masukan dan bantuannya.
6. Bapak/ibu dosen Jurusan Fisika FMIPA UNHAS atas ilmu yang diberikan kepada penulis selama melaksanakan studi di Jurusan Fisika.
7. Bapak **Dr. Andi Amri, S.Pi.,M.Sc** sebagai Supervisor KKN Gel. 85 Desa Buttu Pamboang, Kec. Pamboang, Kab. Majene, Sulawesi Selatan yang telah memberikan banyak masukan dan motivasinya.
8. Seluruh karyawan FMIPA dan terkhusus : Pak **Ambo/Aji**, Pak **Latif**, Pak **Ali**, Pak **Syukur**, Pak **Suardi**, Pak **Bahtiar** dan Pak **Sangkala** yang telah memberikan banyak bantuan selama proses adminisitrasi.
9. Ustadz **Jafar**, Ustadz **Incah**, Ustadz **Adnan Nur**, Ustadz **Darwis Firman**, Ustadz **Nasruddin**, dan Ustadz **Fuad Bawardi**, yang telah tulus meluangkan waktu untuk berbagi ilmu, pengalaman serta motivasinya keagamaan.
10. **Muh. Rizal Rahman** selaku pembimbing ketiga, **Jusmawang** selaku pembimbing keempat, **Raden Asrisal** selaku pembimbing kelima, dan **Muh. Jufrin** selaku pembimbing keenam yang telah meluangkan waktu untuk berbagi ilmu dan pengalaman dengan penulis. Semoga Allah memudahkan segala urusan kalian.
11. Kakak angkat **Muh. Ilham Anugrah Bayu** dan adik angkat **Muh. Adhan Saenong**, merupakan salah satu hadiah terindah yang telah Allah berikan di dunia ini. Terima kasih atas segala pelajaran hidup, kedisiplinan, dukungan, motivasi, bantuan, doa, dan bimbingan yang telah diberikan.

Semoga tetap dapat bersua di *Jannah Firdaus* Allah kelak. *Ana uhibbukum Fillah.*

12. Saudara-saudariku Fisika Medik 2010 : **Pai, Reza, Muslim, Eka (S.Si), Tenri (S.Si), Hari (S.Si), Cica (S.Si), Dewi (S.Si), Muti, Uzi (S.Si), Inchi (S.Si), Olive (S.Si), I'in (S.Si).** Terima kasih atas ilmu dan motivasinya.
13. Saudara-saudariku Fisika 2010 : **Dipa D'physic the red campus the JPPB the wisma melati the BTP the RPC the ON MIPA the LFD the the UKMB the S.Si, Tanto (S.Si), Inno, Bustam (S.Si), Ippank, Angga, Arlin (S.Si), Gazali, Hadria (S.Si), Diana (S.Si), Urhi (S.Si), Tiwi (S.Si), Ani (S.Si), Satti (S.Si), Dira (S.Si), Yulis (S.Si), Tuti (S.Si), Satriana (S.Si), Lili (S.Si), Sri (S.Si), Ayu (S.Si), Fira (S.Si), Ana (S.Si), Nusu' (S.Si), dan Sinar (S.Si)** serta saudara-saudariku **Geoph'10.** Terima kasih atas semangat dan motivasi serta kebersamaanya.
14. Saudara-saudaraku dalam halaqah tarbiyah: Kak **Bayu, Ishak, Asrul, Amir, Gunawan, Supaldi, Adek Fadli Darmawan, dan Abdul Hamid.**
15. Adik-Adik Geofisika 2014.
16. Keluarga Besar UKM LDK Mahasiswa Pecinta Mushallah Universitas Hasanuddin.
17. Kanda-kanda dan Adik-adik Jurusan Fisika FMIPA UNHAS.
18. Teman-teman KKN UNHAS Gel. 85 Desa Buttu Pamboang, Kec. Pamboang, Kab. Majene : **Bin, Zawir, Anang, Kak Ahmad, Kak Eny, Endi, Ida, Annis, , dan Immah.**

19. Semua pihak yang telah membantu selama penyusunan skripsi, penulis ucapkan terima kasih.

Akhir kata, semoga Allah *Subhanahu wa Ta'ala* membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu, Aamiin.

Wassalaamu 'Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Maret 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR GRAFIK	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup Penelitian	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
II. 1 Radioterapi	4
II.2 Karakteristik Sinar-X.....	4
II.3 Interaksi Sinar-X	5
II.3.1 Koefisien Atenuasi	5
II.3.2 Efek Fotolistrik	5
II.3.3 Hamburan Compton	6
II.3.4 Produksi Pasangan.....	6
II.4 Linear Accelerator	7
II.5 Kepala <i>Linear Accelerator</i>	8
II.6 Kolimator	9
II.7 Fantom Air	10
II.8 <i>Ionisasi Chamber</i>	11
II.9 Profil Dosis	13
II.10 Simetri Berkas (<i>Beam Symetry</i>)	14
II.11 Kerataan Berkas (<i>Beam Flatness</i>)	15
II.12 Presentasi Kedalaman Dosis (<i>Percentage Depth Dose</i>).....	16

II.12 Kalibrasi Keluaran	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
III.2 Alat dan Bahan.....	21
III.2.1 Alat.....	21
III.2.2 Bahan	22
III.3 Prosedur Penelitian.....	22
III.4 Bagan Alur Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1 Hasil Pengukuran PDD.....	24
IV.1.1 Pengukuran PDD Berkas Sinar-X 6 MV	24
IV.1.2 Pengukuran PDD Berkas Sinar-X 10 MV	25
IV.2 Hasil Pengukuran Profil Dosis	28
IV.2.1 Pengukuran Profil Dosis Berkas Sinar-X 6 MV.....	29
IV.2.2 Pengukuran Profil Dosis Berkas Sinar-X 10 MV.....	30

BAB V PENUTUP	37
V.1. Kesimpulan.....	37
V.2. Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	42

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II.1. Ilustrasi komponen <i>Linear Accelerator</i>	7
Gambar II.2. Bagian-bagian kepala <i>Linear Accelerator</i>	8
Gambar II.3. Ilustrasi umum komponen kepala <i>Linear Accelerator</i> untuk menghasilkan Sinar-X.....	9
Gambar II.4. Ilustrasi kolimator.....	10
Gambar II.5. Ilustrasi bagian dalam <i>Ionisasi Chamber</i>	13
Gambar II.6. Medan radiasi dan Profil Dosis dari sumber radiasi ideal.....	13
Gambar II.7. Profil Dosis pada sebuah daerah d_{max} untuk kedalaman 3 cm, 10 cm, dan 20 cm.....	14
Gambar II.8. Konsep Presentase Dosis Kedalaman.....	17
Gambar II.9. Kurva PDD berkas foton 6 MV dan 10 MV.....	18

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik IV.1. PDD berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 90 cm, 100 cm, dan 110 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm.....	24
Grafik IV.2. PDD berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 90 cm, 100 cm, dan 110 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm.....	25
Grafik IV.3. Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 90 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm.....	29
Grafik IV.4. Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 100 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm....	29
Grafik IV.5. Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 110 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm....	30
Grafik IV.6. Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 90 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm.....	30
Grafik IV.7. Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 100 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm.....	31

Grafik IV.8. Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 110 cm
pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 31
cm.....

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel IV.1 Perbandingan PDD pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 6 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.....	26
Tabel IV.2. Perbandingan PDD pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 10 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.....	27
Tabel IV.3. Perbandingan <i>flatness</i> profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 6 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.....	33
Tabel IV.4. Perbandingan <i>flatness</i> profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 10 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.....	34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Data Pengukuran

Lampiran II Tabel Hasil Penelitian

Lampiran III Perhitungan

Lampiran IV Foto Alat dan Bahan

Lampiran Kartu Kontrol

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Lebih dari 50% penderita kanker di negara-negara maju memerlukan radioterapi sepanjang perjalanan penyakitnya. Sedangkan di negara-negara berkembang diperkirakan angka tersebut lebih tinggi lagi karena penderita sebagian besar berada pada stadium lanjut, sehingga pengobatan bedah tidak dapat dilakukan lagi. Kondisi tersebut menjadikan radioterapi menjadi salah satu cara terbaik dalam pengobatan kanker yang bersifat multidisiplin dengan menggunakan sinar pengion.¹ Pengobatan ini bertujuan untuk menghancurkan sel-sel tumor dengan memberikan dosis yang maksimal pada volume target penyinaran tanpa menyebabkan kerusakan yang berarti pada jaringan normal di sekitarnya.²⁻⁴ Sinar pengion yang digunakan untuk penyinaran dapat berasal dari sumber radioaktif atau mesin pemercepat elektron *linear accelerator* (linac).⁵

Pesawat pemercepat elektron linac, telah digunakan untuk terapi berbagai jenis tumor dan dirancang untuk menghasilkan multienergi berkas elektron maupun foton, sehingga alat ini dapat digunakan untuk berbagai kedalaman letak kanker.¹ Radiasi elektron biasanya dipakai untuk terapi kanker di dekat permukaan kulit (*superficial tumours*),⁶ sementara radiasi foton digunakan untuk terapi kanker yang berada pada daerah yang cukup jauh dari permukaan kulit. Dalam proses interaksi dengan medium, sebagian atau seluruh energi dari radiasi foton ditransfer ke elektron. Selanjutnya energi didistribusikan dalam medium

oleh elektron sekunder yang bergerak.⁷ Oleh karena itu, distribusi dosis sangat tergantung pada jangkauan elektron sekunder tersebut. Keberadaan pesawat radioterapi khususnya linac, dirasakan sangat efisien, dengan adanya multienergi pada satu alat linac dengan tidak membutuhkan banyak ruangan untuk mendapatkan lebih dari satu energi, baik elektron maupun foton.¹

Sejak tahun 1970-an penggunaan linac energi tinggi mempunyai multienergi berkas elektron dan foton, yaitu pada energi elektron untuk keperluan radioterapi adalah berkisar 4-22 Mev dan untuk energi foton adalah 6-18 MV. Sifat dari radiasi pengion dapat merusak jaringan, maka diusahakan dosis radiasi yang diberikan pada sel tumor harus terdistribusi secara merata atau homogen sesuai dengan aturan ICRU yaitu dosis maksimum dalam rentang 95% -107%. Pemberian dosis radiasi harus sesuai dengan tujuan dari radioterapi, yaitu kuratif radiasi dan paliatif radiasi dosis yang berlebihan akan menyebabkan kerusakan jaringan normal, yang mungkin dapat menimbulkan nekrosis jaringan, sedangkan dosis yang tidak cukup untuk membunuh sel ganas akan menyebabkan kambuh/residif. Dengan perencanaan terapi dan pemberian dosis yang tepat akan menentukan keberhasilan pengobatan.¹

Nilai dosis maksimum untuk foton tidak berada pada permukaan kulit, tetapi berada pada kedalaman tertentu, yang sering dinamakan dosis kedalaman maksimum, d_{max} . Harga d_{max} tergantung pada energi foton primer. Daerah antara permukaan sampai dengan kedalaman maksimum dikenal sebagai daerah *build-up*. Semakin besar energi foton primer, semakin panjang daerah *build-up*.⁷⁻⁹

Berdasarkan hal tersebut di atas, penulis merasa penting untuk melakukan penelitian untuk menguji dosis berkas sinar-x pada pesawat *linear accelerator* dengan berbagai variasi kedalaman.

I.2 Ruang Lingkup Penelitian

Uji kelayakan ini dibatasi pada perhitungan *percentage depth dose* (PDD) dan *profil dose* pada pesawat *linear accelerator* untuk berkas sinar-X 6 MV dan 10 MV. Variasi jarak sumber radiasi ke permukaan medium (*Source to Skin Distance*, SSD) yang digunakan adalah 90 cm, 100 cm, dan 110 cm. Untuk variasi kedalaman digunakan jarak 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, dan d_{max} pada luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam pengujian ini:

1. Menganalisa perubahan PDD dan *profil dose* terhadap variasi SSD melalui berbagai tingkat kedalaman.
2. Membandingkan besar penyimpangan *profil dose* pada pesawat *linear accelerator* yang diperoleh melalui kurva *profil dose*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1 Radioterapi

Radioterapi merupakan suatu spesifikasi klinis yang menggunakan radiasi pengion baik sinar elektromagnetik maupun partikel bermuatan untuk mengobati tumor ganas (kanker) dan beberapa keadaan (tumor jinak). Radioterapi juga dianggap sebagai pengobatan lokal pada penyakit kanker, karena hanya sel yang berada di dalam dan sekitar kanker yang menjadi target. Dalam dunia kedokteran, sekitar tahun 1950, sebagian besar penyinaran radioterapi eksternal dilakukan dengan penggunaan sinar-X pada tegangan hingga 300 kVp. Perkembangan selanjutnya meningkat ke energi yang lebih tinggi dengan menggunakan unit cobalt-60, kemudian pada tahun 1960 secara bertahap kilovoltage konvensional tidak digunakan sepenuhnya tergantung dari kasusnya terutama untuk pengobatan yang letak lesinya berada dipermukaan kulit dan tidak jauh dari permukaan tubuh. Tujuan radioterapi adalah memberikan dosis radiasi yang tepat pada volume kanker yang ditentukan untuk membunuh kanker dengan kerusakan seminimal mungkin pada jaringan sehat sekitarnya. Selain itu, radioterapi juga dapat mencegah kanker agar tidak muncul di area lain.¹

II.2 Karakteristik Sinar-X

Sinar-X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang tidak mempunyai massa maupun muatan listrik dan dapat digunakan untuk pengobatan penyakit kanker. Tegangan 10-125 kilovolt (KV) digunakan untuk kelainan superficial, tegangan 125-400 KV digunakan untuk kelainan yang sedikit lebih

dalam, sedangkan tegangan di atas 400 KV untuk kelainan di bawah kulit. Namun yang biasa dipakai dalam pengobatan berkisar antara 4 sampai 10 megavolt (MV) untuk kelainan yang dalam letaknya.¹⁰

II.3 Interaksi Sinar-X

Proses interaksi antara sinar-X dengan materi terjadi melalui berbagai cara salah satunya adalah melalui koefisien atenuasi, efek fotolistrik, efek compton, dan produksi pasangan. Probabilitas terjadinya proses tersebut sangat ditentukan oleh energi radiasi dan jenis materi (nomor atom) penyerapnya.^{11,12}

II.3.1 Koefisien Atenuasi

Bila berkas foton melewati medium, sejumlah foton akan berinteraksi dengan medium dan keluar dari berkas, sedangkan sebagian lain kemungkinan tidak mengalami interaksi sama sekali. Akibatnya jumlah foton yang keluar dari medium berkurang.

II.3.2 Efek Fotolistrik

Peristiwa yang terjadi ketika radiasi foton mengenai suatu materi, energi foton akan diserap seluruhnya oleh materi. Peristiwa ini biasa disebut dengan efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi pada energi foton rendah kira-kira 50 KeV. Energi foton yang diserap itu digunakan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan inti. Electron-elektron yang dilepaskan merupakan elektron-elektron pada kulit bagian dalam seperti kulit K. Elektron yang terpancar keluar dinamakan foton elektron.^{12,13}

II.3.3 Hamburan Compton

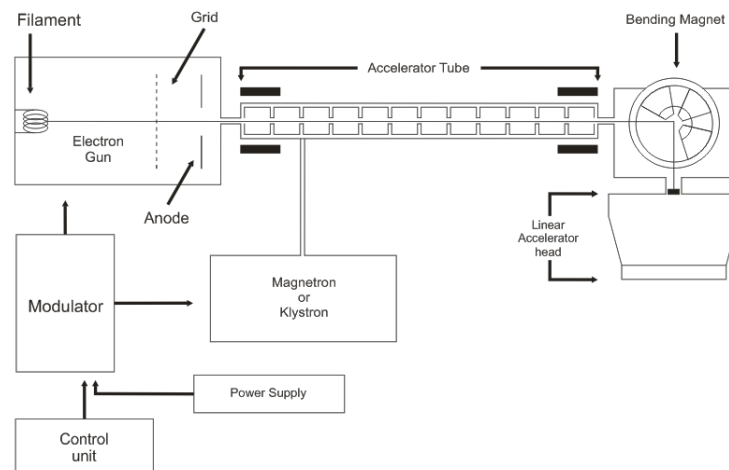
Peristiwa yang terjadi ketika foton mengenai suatu materi dan energi foton hanya diserap sebagian oleh materi untuk mengeluarkan elektron dari atom dan sebagian energi akan terpancar sebagai radiasi hamburan dengan energi lebih rendah dari energi semula disebut peristiwa hamburan Compton. Efek Compton terjadi pada elektron-elektron bebas atau elektron yang terikat secara lemah pada lapisan kulit terluar.¹² Elektron tersebut dilepaskan dari ikatan inti atom dan bergerak dengan energi kinetik tertentu disertai foton lain dengan energi lebih rendah dibanding foton datang. Hamburan Compton sangat dominan terjadi bila foton berenergi sedang (lebih dari 0,5 MeV) dan lebih banyak terjadi pada material dengan nomor atom (Z) yang rendah.⁵

II.3.4 Produksi Pasangan

Produksi pasangan terjadi karena interaksi antara foton dengan medan listrik dalam inti atom berat. Pada efek produksi pasangan, foton akan lenyap dan sebagai gantinya akan timbul sepasang elektron-positron. Karena massa diam elektron atau positron ekuivalen dengan 0,51 MeV, maka produksi pasangan hanya dapat terjadi pada energi foton yang datang lebih dari 1,02 MeV.⁵ Pada produksi pasangan foton menghilang dan pasangan elektron-positron digabungkan dengan energi kinetik.¹⁴

II.4 Linear Accelerator

Linear accelerator (linac) adalah suatu alat yang menggunakan frekuensi gelombang elektromagnetik tinggi, bertujuan mempercepat elektron menjadi energi tinggi melalui tabung linear. Tabung ini merupakan tabung penghantar, terdiri dari susunan sel-sel berupa rongga-rongga yang terbuat dari tembaga. Ke dalam tabung disalurkan gelombang mikro yang dibangkitkan oleh magnetron/klystron. Gelombang mikro kemudian disalurkan melalui sirkulator dan tabung pemandu gelombang pemercepat elektron.¹⁵



Gambar II.1 Ilustrasi komponen *linear accelerator*.⁷

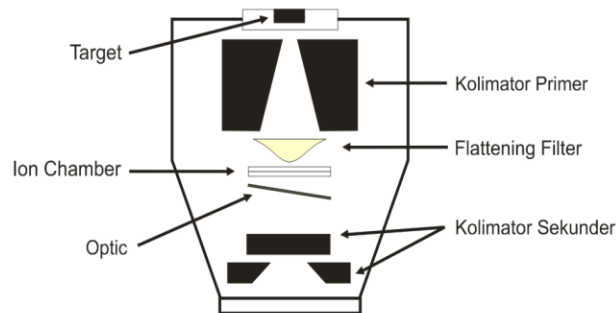
Bagian umum *linear accelerator* yaitu:

1. Generator RF: untuk mengakselerasi elektron pada energi tertentu dan dapat berupa magnetron (biasanya ditemukan pada pesawat berenergi rendah) atau klystron.
2. *Electron gun*: mentransmisikan elektron ke dalam tabung akselerasi.
3. Tabung akselerasi: mempercepat elektron.

4. Bending magnet: mengubah arah lintasan elektron pada sudut 90° , 270° , maupun zig-zag.
5. Bagian kepala.¹⁶

II.5 Kepala *Linear Accelerator*

Bagian kepala linac terdiri dari beberapa komponen yang mempengaruhi produksi, pembentukan lokalisir, dan pemantauan berkas elektron.¹⁴ Secara umum, kepala linac untuk mode sinar-X, terdiri atas komponen: target, kolimator primer, *flattening filter*, *monitor chamber*, cermin, dan kolimamator sekunder (*jaws*). Setiap *manufacturers*, dalam mengatur komponen tersebut, bias dengan urutan yang berbeda. Untuk tujuan klinis, juga sering ditambah dengan komponen yang lain.⁹

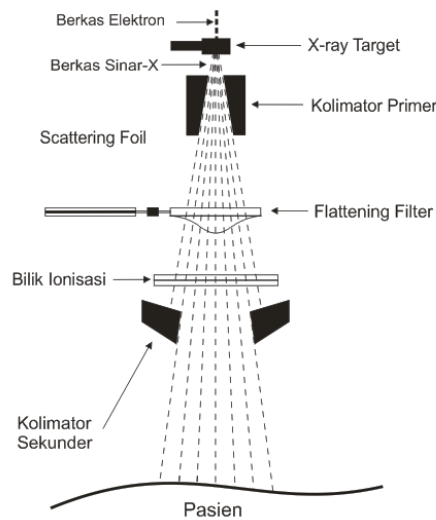


Gambar II.2 Bagian-bagian kepala *linear accelerator*.⁹

Adapun fungsi dari salah satu komponen kepala linac yaitu:

- a. Target: berinteraksi dengan elektron dalam menghasilkan foton.
- b. *Flattening filter*: mengurangi intensitas radiasi sumbu pusat pada berkas foton.

- c. Sistem optis: membatasi *focus skin distance* (FSD) dan menunjukkan arah berkas penyinaran.¹⁶
- d. Kolimator: terdiri dari kolimator utama (*primary collimator*) dan kolimator kedua (*secondary collimator*), yang memiliki fungsi utama untuk membentuk lapangan radiasi (*field size*).^{7,16}

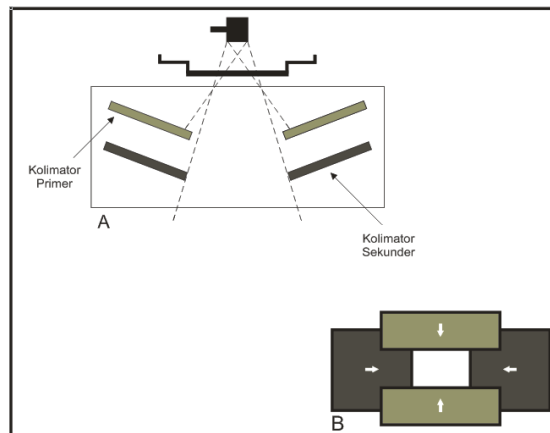


Gambar II.3 Ilustrasi umum komponen kepala *linear accelerator* untuk menghasilkan sinar-X.¹⁵

II.6 Kolimator

Kolimator adalah alat pembatas radiasi yang umumnya digunakan dalam radioterapi yang biasanya terdiri dari dua set penutup berbahan timbal (kolimator primer dan kolimator sekunder) yang saling berhadapan dan bergerak dengan arah berlawanan secara berpasangan. Alat ini mempunyai dua keuntungan yaitu dilengkapi dengan pembatas luas lapangan penyinaran yang dapat diatur dan dijadikan sebagai acuan untuk menentukan titik tengah (*central point*) sinar-X yang keluar dari bidang target. Selain itu, fungsi pembatas-pembatas tersebut

yaitu untuk meminimalkan paparan radiasi yang diterima oleh pasien dan untuk mengurangi radiasi hambur.



Gambar II.4 Ilustrasi kolimator. A. Tampak dari samping B. Tampak dari atas.

II.7 Fantom Air

Untuk mengetahui perubahan kuantitas berkas atau distribusi dosis, biasanya pasien diganti dengan fantom, yakni medium yang mempunyai sifat menyerap dan menghamburkan berkas mendekati jaringan tubuh manusia.⁷ Pada umumnya data distribusi dosis diukur menggunakan fantom air, dengan pendekatan sangat mirip dengan sifat penyerapan dan *scattering* radiasi pada otot dan jaringan lunak lainnya. Hal ini disebabkan komposisi tubuh manusia sebagian besar (60%) terdiri dari air. Alasan lain, fantom air mudah didapat dan diproduksi kembali. Walaupun begitu ada sedikit permasalahan di lapangan apabila digunakan *ion chamber* dan detektor lain yang sangat terpengaruh oleh air, sehingga detektor tersebut harus didesain tahan air.

Ketika berkas masuk ke tubuh pasien atau fantom, dosis yang terserap pada tubuh pasien bervariasi sebagai fungsi kedalaman. Variasi ini tergantung pada banyak kondisi: energi berkas, kedalaman, jarak dari sumber, dan sistem kolimasi berkas.¹⁵

Parameter-parameter dosimetri diperlukan untuk mengetahui besarnya dosis yang diterima pasien. Parameter-parameter tersebut menggambarkan bagaimana menentukan distribusi dosis serap, seperti misalnya persen dosis kedalaman, perbandingan jaringan-udara, perbandingan jaringan fantom, kurva isodosis, dan yang lainnya. Untuk mendapatkan parameter-parameter tersebut tentu ada tingkat akurasi, sehingga akan memberikan sumbangan akurasi pada penentuan dosis berikutnya.¹

II.8 Ionisasi Chamber

Detektor *ionisasi chamber* merupakan alat ukur radiasi yang mengukur jumlah ionisasi yang terjadi di dalam rongga detektor. Secara garis besar detektor ini terdiri dari rongga yang berisi gas yang terlindungi oleh dinding luar yang terbuat dari bahan yang bersifat konduktif dan pada bagian tengah terdapat elektroda yang berfungsi untuk mengumpulkan ion.

Detektor ini terdiri dari dua elektroda, positif dan negatif, serta berisi gas di antara kedua elektrodanya. Elektroda positif disebut sebagai anoda, yang dihubungkan ke kutub listrik positif, sedangkan elektroda negatif disebut sebagai katoda, yang dihubungkan ke kutub negatif. Kebanyakan detektor ini berbentuk

silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda.

Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi gas dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif (elektron). Jumlah ion yang akan dihasilkan tersebut sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan daya ionisasi gas. Ion-ion yang dihasilkan di dalam detektor tersebut akan memberikan kontribusi terbentuknya pulsa listrik ataupun arus listrik.

Ion-ion primer yang dihasilkan oleh radiasi akan bergerak menuju elektroda yang sesuai. Pergerakan ion-ion tersebut dapat berlangsung bila di antara dua elektroda terdapat cukup medan listrik. Bila medan listriknya semakin tinggi maka energi kinetik ion-ion tersebut akan semakin besar sehingga mampu untuk mengadakan ionisasi lain.

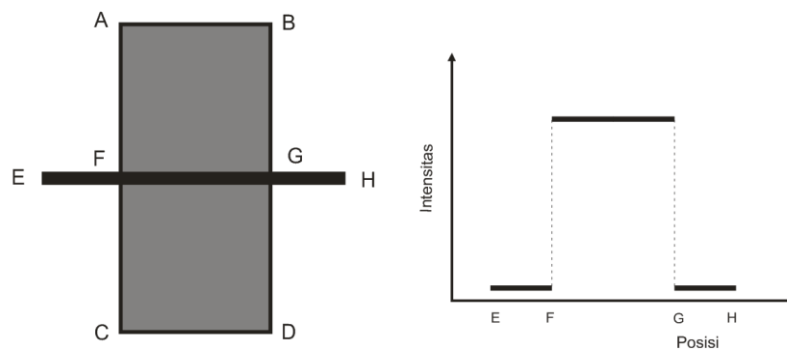
Detektor *ionisasi chamber* kemudian dihubungkan dengan elektrometer. Secara umum, elektrometer merupakan suatu rangkaian elektronik yang memiliki penguatan tinggi, *feedback negative*, operasional amplifier dengan resistor atau kapasitor yang berfungsi untuk mengukur arus dan muatan di dalam detektor *ionisasi chamber*. Elektrometer tersebut secara langsung dihubungkan dengan komputer yang dilengkapi dengan program yang digunakan untuk mengolah data *percentage depth dose* (PDD) dan komputer tersebut diletakkan di luar ruangan *linear accelerator*. Saat pengukuran berkas pada fantom, detektor akan bergerak vertikal pada sumbu utama secara otomatis.^{14,17}



Gambar II.5 Ilustrasi bagian dalam *ionisasi chamber*.⁷

II.9 Profil Dosis

Profil dosis radiasi merupakan karakteristik berkas radiasi dan memberikan informasi yang penting bagi perencanaan radioterapi.¹⁸ Profil dosis juga dinyatakan sebagai kurva yang menunjukkan bentuk muka sinar pada sumbu horizontal yang tegak lurus dari arah datangnya sinar.¹⁹ Kurva tersebut menginterpretasikan sebaran dosis relatif pada suatu medan radiasi tertentu. Bentuk profil dosis dipengaruhi oleh bentuk geometris dari sumber.²⁰ Bentuk profil dosis ideal yang diperlukan dalam pelaksanaan teleterapi diperlihatkan pada (Gambar II.6).

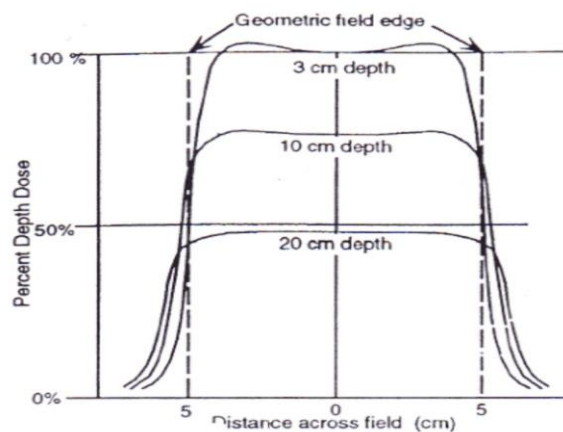


Gambar II.6 Medan radiasi dan profil dosis dari sumber radiasi ideal.²¹

Dalam praktek keseharian hamper tidak mungkin diperoleh medan radiasi yang ideal. Oleh karena itu bentuk profil medannya pun tidak lagi berupa garis lurus. Untuk kasus sederhana dengan mengasumsikan sumber radiasinya berupa

sebuah titik yang isotropic (*Point Source Isotropic*), maka sumber tersebut akan memancarkan radiasi dengan intensitas yang sama ke semua arah.²⁰

Profil berkas radiasi juga sangat bervariasi sesuai kedalamannya. Variasi dosis pada sebuah daerah dengan kedalaman tertentu dapat ditentukan dari kesesuaian kurva isodosis.



Gambar II.7 Profil dosis sebuah daerah pada d_{max} untuk kedalaman 3 cm, 10 cm, dan 20 cm.¹⁹

II.10 Simetri Berkas (*Beam Symmetry*)

Simetri berkas (S) umumnya ditentukan D_{max} yang mempresentasikan parameter uniformitas. Nilai S merupakan persentasi deviasi untuk dua titik yang berjarak sama dari pusat berkas yang tidak boleh melebihi 2%. Alternatif lain, S ditentukan dahulu luas profil berkas pada setiap sisi (kanan dan kiri) terdapat sumbu utama sampai pada 50% (terhadap 100% pada titik di sumbu utama), dan selanjutnya S mengikuti persamaan berikut:

$$S = 100 \times \frac{\text{Luas daerah}_{kiri} - \text{Luas daerah}_{kanan}}{\text{Luas daerah}_{kiri} + \text{Luas daerah}_{kanan}} \quad (2.1)$$

Umumnya nilai simetri dapat dihitung dengan program komputer yang tersedia pada dosimeter relatif.⁷

II.11 Kerataan Berkas (*Beam Flatness*)

Profil dosis berkas sinar-X mengandung dua daerah yang berbeda. Daerah umbra, berkas tidak dipengaruhi kolimator, dan daerah penumbra yang dipengaruhi oleh lapangan yang ditentukan oleh kolimator. Batas antara umbra dan penumbra tidak jelas, dan secara nominal berada pada 1 cm sampai 1,5 cm dari pinggir lapangan. Kerataan berkas (F) didefinisikan dengan menentukan terlebih dahulu nilai D_{max} dan D_{min} yang terletak pada daerah sentral 80% lebar berkas. Nilai F ditentukan mengikuti persamaan berikut:

$$F = 100 \times \frac{D_{maks} - D_{min}}{D_{maks} + D_{min}} \quad (2.2)$$

Spesifikasi kerataan untuk linac umumnya diukur dalam medium air pada kedalaman 10 cm, SSD 100 cm, lapangan maksimum yang tersedia (biasanya 40 x 40 cm), selanjutnya $F < 3\%$. Penentuan kerataan pada kedalaman 10 cm disebabkan pada D_{max} adanya efek *over-flattening*.⁷

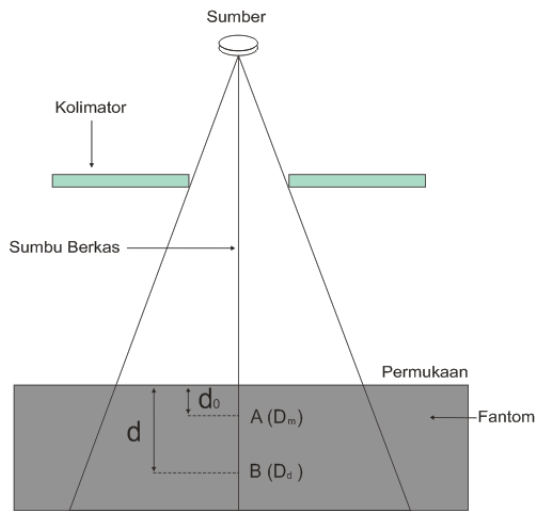
II.12 Presentasi Kedalaman Dosis (*Percentage Depth Dose*)

Persentase dosis kedalaman adalah dosis serap yang diberikan pada kedalaman utama sebagai persentase dari dosis serap pada kedalaman penunjuk pada daerah sumbu utama. Distribusi dosis pada titik di sumbu utama berkas di dalam fantom biasanya dinormalisasi ke $D_{\max} = 100\%$ pada kedalaman dosis maksimum D_{\max} yang sesuai dengan kedalaman referensi. Geometri untuk pendefinisian persentase dosis kedalaman ditunjuk pada (Gambar II.8). Nilai persentase kedalaman dosis dapat didefinisikan sebagai hasil, berupa persentase, dosis yang terserap di kedalaman tertentu d terdapat kedalaman dosis acuan d_0 , sepanjang sumbu berkas. Persentase kedalaman dosis (PDD) adalah:¹⁵

$$PDD = \frac{D_d}{D_{d_0}} \times 100 \% \quad (2.3)$$

D_d = dosis pada kedalaman d , D_{d_0} = dosis pada kedalaman d_0 .

Untuk *orthovoltage* (sampai dengan 400 kVp) dan sinar-X energy rendah, kedalaman acuan selalu pada permukaannya ($d_0 = 0$). Untuk energy yang lebih tinggi, kedalaman acuan diambil pada posisi dosis terserap maksimum ($d_0 = d_m$).



Gambar II.8 Konsep presentase dosis kedalaman.²⁰

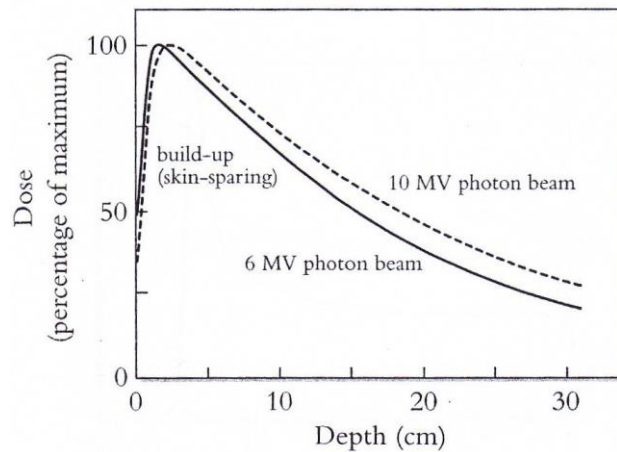
Dalam penggunaannya, puncak dosis yang terserap pada sumbu tengah kadangkala disebut juga dosis maksimum, dosis yang diberikan, atau hanya D_{max} . sehingga:

$$D_{max} = \frac{Dd}{PDD} \times 100\% \quad (2.4)$$

Sejumlah parameter mempengaruhi distribusi dosis kedalaman sumbu tengah. Ini termasuk kualitas berkas atau energi, kedalaman, bentuk dan ukuran lapangan, jarak sumber permukaan, dan berkas kalimator.

Pada (Gambar II.9), persentase kedalaman dosis untuk sinar-X menurun dengan bertambahnya kedalaman setelah dosis maksimum dicapai. Pada kasus *orthovoltage* atau sinar-X dengan energi lebih rendah, dosis *buildup* mencapai maksimum dengan jarak yang cukup dekat dengan permukaan. Tetapi untuk energi yang lebih tinggi, titik maksimum dosis berada lebih dalam pada suatu

jaringan atau fantom. Daerah antara permukaan dan titik maksimum dosis disebut daerah *buildup*.¹⁵



Gambar II.9 Kurva PDD berkas foton 6 dan 10 MV.²²

Secara fisis daerah *buildup* dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Sebagai berkas berenergi tinggi, foton masuk ke dalam tubuh pasien atau fantom, mengeluarkan elektron dengan kecepatan tinggi melewati permukaan dan lapisan berikutnya.
- b. Elektron ini menyimpan energi pada suatu jarak tertentu dari posisi normalnya/awalnya sehingga fluens elektron dan dosis meningkat hingga nilai maksimum dosis tercapai.
- c. Fluens foton terus menurun dengan bertambahnya kedalaman, maka produksi elektron pun juga ikut menurun.
- d. Efek setelah melampaui kedalaman tertentu dosis akan menurun dengan bertambahnya kedalaman.

Fluens didefinisikan sebagai jumlah foton atau elektron dibagi dengan luas penampang yang dilewatinya. Walaupun begitu fluens energi foton akan

berkurang terus-menerus sebagai fungsi kedalaman, sebagai akibatnya produksi elektron juga berkurang sebagai fungsi kedalaman. Efek secara keseluruhan adalah apabila kedalaman melebihi nilai tertentu, dosis secara cepat turun mengikuti bertambahnya kedalaman.¹⁵

II.12 Kalibrasi Keluaran

Kalibrasi luaran dilakukan untuk menentukan laju dosis serap berkas radiasi pesawat tersebut pada kondisi acuan. Sertifikat Kalibrasi yang dikeluarkan oleh laboratorium kalibrasi merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh rumah sakit untuk izin penggunaan sumber radiasi tersebut.

Salah satu parameter dari berkas radiasi yang diukur proses kalibrasi adalah kurva persentase dosis kedalaman berkas radiasi baik foton maupun elektron pada suatu kondisi pengukuran. Kurva persentase ini sangat penting karena dari kurva ini dapat ditentukan kualitas berkas radiasi tersebut. Disamping itu beberapa faktor koreksi yang diperlukan untuk menentukan dosis serap pesawat linac tersebut diperoleh dari kurva tersebut. Demikian pula halnya dengan kedalaman acuan yang digunakan untuk menentukan dosis serap berkas foton dan elektron tersebut.

Disamping untuk mendapatkan beberapa faktor koreksi yang diperlukan dalam perhitungan dosis serap air, kurva persentase dosis di kedalaman ini dapat juga digunakan untuk melakukan verifikasi kualitas berkas radiasi dari pesawat linac terhadap spesifikasi yang dikeluarkan oleh pabrik atau yang direkomendasikan oleh beberapa publikasi.

Pengukuran kalibrasi berkas foton 6 dan 10 MV dilakukan di dalam fantom air menggunakan *ionisasi chamber* yang dirangkaikan dengan elektrometer. Untuk mengatur besarnya dosis yang dipancarkan dari pesawat, maka pada bagian kepala pesawat linac di tempatkan sepasang detektor transmisi/monitor yang bacaannya dalam besaran Monitor Unit (MU). Kemudian untuk menjamin keakuratan dosis serap, maka linac dikalibrasi secara periodik dengan mengatur elektrometer untuk penyesuaian gelombang.²³

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengujian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2016, di bagian Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Hasanuddin.

III.2 Alat dan Bahan

Hal yang penting dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah menyiapkan alat dan bahan. Adapun alat dan bahan yang akan digunakan pada pengujian ini yaitu sebagai berikut:

III.2.1 Alat

1. Pesawat *Linear Accelerator* (Linac)

Merek : Varian

Tipe : HCX 6540

Range Energy : 6 MV dan 10 MV (Berkas Sinar-X)

Buatan : Amerika Serikat

2. *Ionisasi Chamber*

3. *Water Phantom*

4. *Software Omni-Pro*

5. *Coach*

6. Saringan

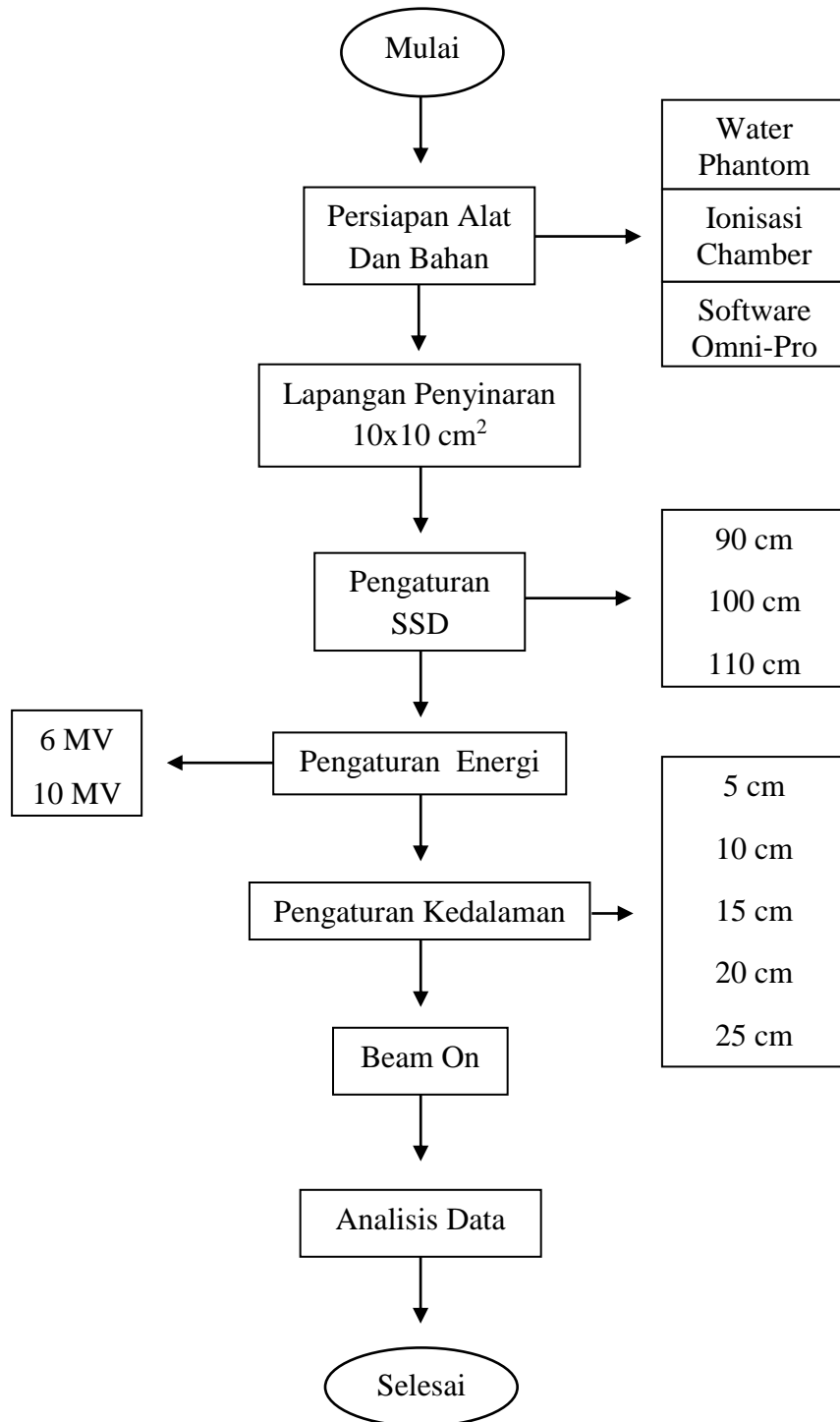
III.2.2 Bahan

1. Air (*Aquades*)

III.3 Prosedur Penelitian

1. Menyiapkan *water phantom* yang berisi *Aquades*
2. Meletakkan/memposisikan *water phantom* sejajar dengan posisi laser
3. Memposisikan setiap sisi *water phantom* pada level yang sama
4. Meletakkan *ionisasi chamber* pada *water phantom*
5. Menghubungkan *ionisasi chamber* dengan *software Omni-Pro* pada komputer melalui kabel optik
6. Mengatur luas lapangan penyinaran $10 \times 10 \text{ cm}^2$
7. Mengatur SSD pada jarak 90 cm
8. Mengatur energi sesuai yang diinginkan (6 MV)
9. Mengatur kedalaman *ionisasi chamber* pada *water phantom* dengan kedalaman 5 cm dari permukaan air
10. *Beam on*
11. Menganalisa PDD dan *profile dose* dari *software Omni-Pro*
12. Mengulangi prosedur (7) – (11) dengan menyesuaikan SSD, energi, dan kedalaman.

III.4 Bagan Alur Penelitian



BAB IV

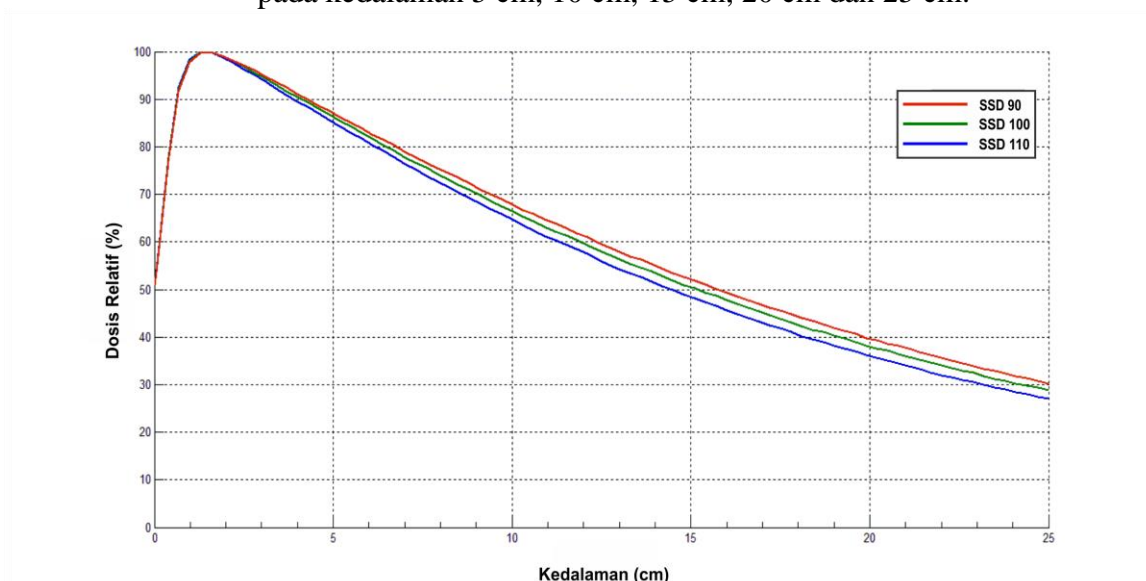
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Pengukuran PDD

Pengukuran PDD dilakukan dengan menggunakan energi berkas sinar-X 6 MV dan 10 MV dengan berbagai variasi SSD dan kedalaman, sedangkan lebar lapangan penyinaran konstan, yakni $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Keseluruhan metode pengukuran menggunakan *water phantom* dan detektor *ionisasi chamber*. Data dan hasil dari keseluruhan pengukuran dapat dilihat pada lampiran I. Dari data diperoleh hubungan antara dosis relatif dan kedalaman yang dapat dilihat pada Grafik IV.1 dan Grafik IV.2.

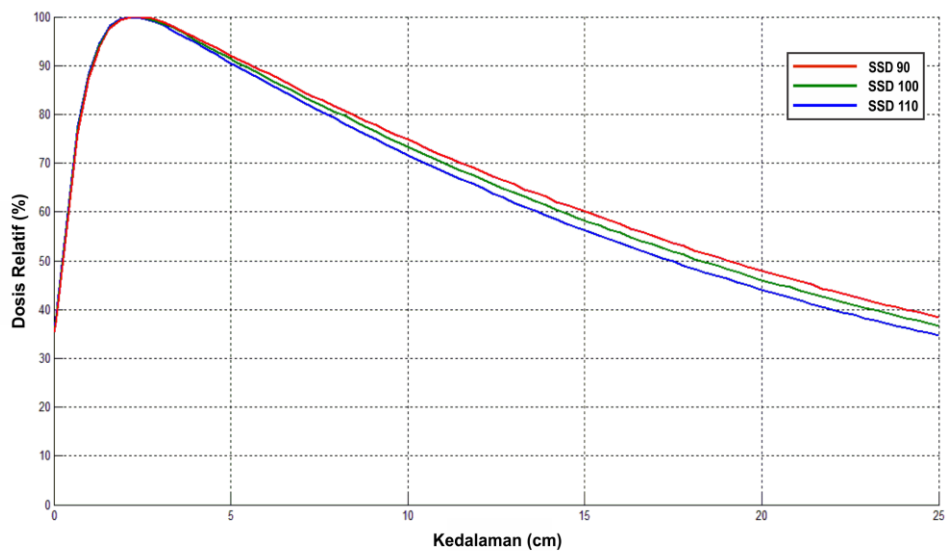
IV.1.1 Pengukuran PDD Berkas Sinar-X 6 MV

Grafik IV.1 PDD berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 90 cm, 100 cm, dan 110 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm.



IV.1.2 Pengukuran PDD Berkas Sinar-X 10 MV

Grafik IV.2 PDD berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 90 cm, 100 cm, dan 110 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm.



PDD merupakan persentase dosis serap yang diberikan pada kedalaman tertentu.¹⁵ Berdasarkan Grafik IV.1 dan Grafik IV.2 diperoleh hasil yang dapat diamati melalui Tabel IV.1 dan Tabel IV.2.

Tabel IV.1 Perbandingan PDD pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 6 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

PDD Berkas Sinar-X 6 MV			
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis Relatif Pengukuran (%)	Dosis Relatif Acuan (%)
90	1,28 (Dmax)	100	1,38 (Dmax)
	5	85,15	86,13
	10	64,7	66,13
	15	48,42	50,27
	20	36,04	43,61
	25	26,96	28,52
100	1,28 (Dmax)	100	1,58 (Dmax)
	5	86,27	87,25
	10	66,41	68,51
	15	50,47	51,18
	20	38,05	45,24
	25	28,77	29,11
110	1,58 (Dmax)	100	1,78 (Dmax)
	5	87,06	88,21
	10	67,91	69,46
	15	52,11	53,17
	20	39,65	46,7
	25	30,21	31,32

Tabel IV.2 Perbandingan PDD pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 10 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

PDD Berkas Sinar-X 10 MV			
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis Relatif Pengukuran (%)	Dosis Relatif Acuan (%)
90	2,18 (Dmax)	100	2,18 (Dmax)
	5	90,47	90,77
	10	71,62	74,61
	15	56,21	59,23
	20	44,08	44,11
	25	34,7	35,2
100	2,48 (Dmax)	100	2,38 (Dmax)
	5	91,38	90,93
	10	73,31	76,16
	15	58,25	60,12
	20	46,08	47,26
	25	36,67	38,35
110	2,18 (Dmax)	100	2,58 (Dmax)
	5	92,1	91,33
	10	74,81	79,81
	15	60,09	62,24
	20	47,9	48,85
	25	38,31	39,59

D_0 merupakan daerah *build-up* yang dimulai dari titik 0 (permukaan medium) hingga ke titik di mana dosis dapat diserap maksimum (100%). Setelah mencapai maksimum, dosis tersebut akan cenderung menurun setelah melewati daerah *build-up* disebabkan energi sinar-X mengalami atenuasi. Atenuasi terjadi karena sinar-X berinteraksi dengan partikel medium sehingga menyebabkan terserapnya energi sinar-X. Dari Table IV.1 dan Tabel IV.2 diperoleh D_0 yang

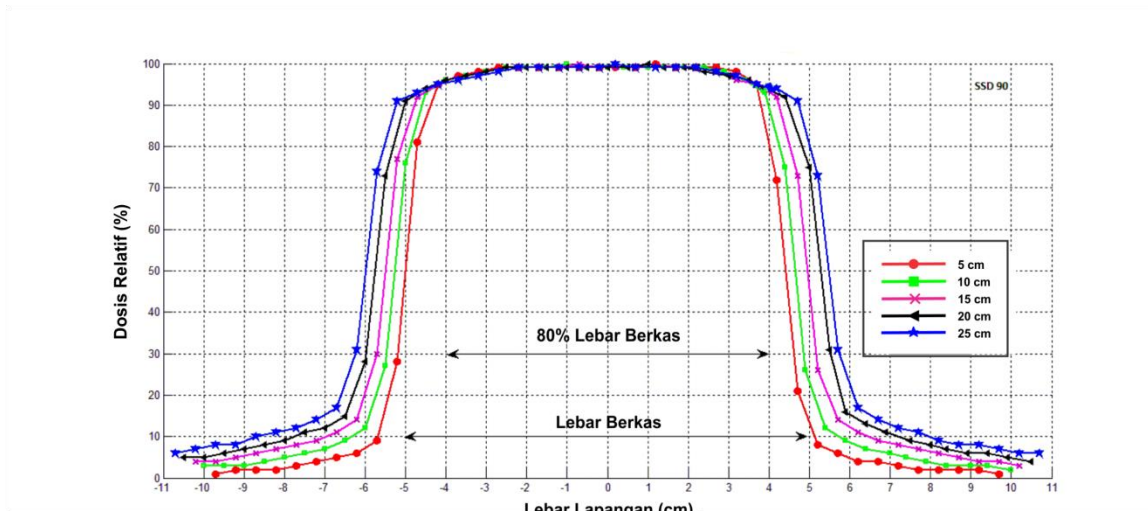
berbeda pada setiap SSD. Untuk SSD 90, D_0 berada pada kisaran titik 0 hingga mencapai maksimum (100%) pada kedalaman 1,28 cm untuk berkas energi 6 MV dan kedalaman 2,18 cm untuk berkas energi 10 MV. Untuk SSD 100, D_0 berada pada kisaran titik 0 hingga mencapai puncak maksimum pada kedalaman 1,28 untuk berkas energi 6 MV dan kedalaman 2,48 cm untuk berkas energi 10 MV. Sedangkan untuk SSD 110, D_0 berada pada kisaran titik 0 hingga mencapai puncak maksimum pada kedalaman 1,58 cm untuk berkas energi 6 MV dan kedalaman 2,18 untuk berkas energi 10 MV. Dari ketiga SSD tersebut dapat dilihat, dosis yang terserap pada daerah *build-up* akan semakin meningkat hingga mencapai maksimum. Maka dari itu energi yang lebih tinggi akan membutuhkan jarak yang lebih panjang untuk mencapai hal tersebut. Kemudian, setelah melewati titik maksimum, dosis yang terserap cenderung akan menurun seiring bertambahnya kedalaman.

IV.2 Hasil Pengukuran Profil Dosis

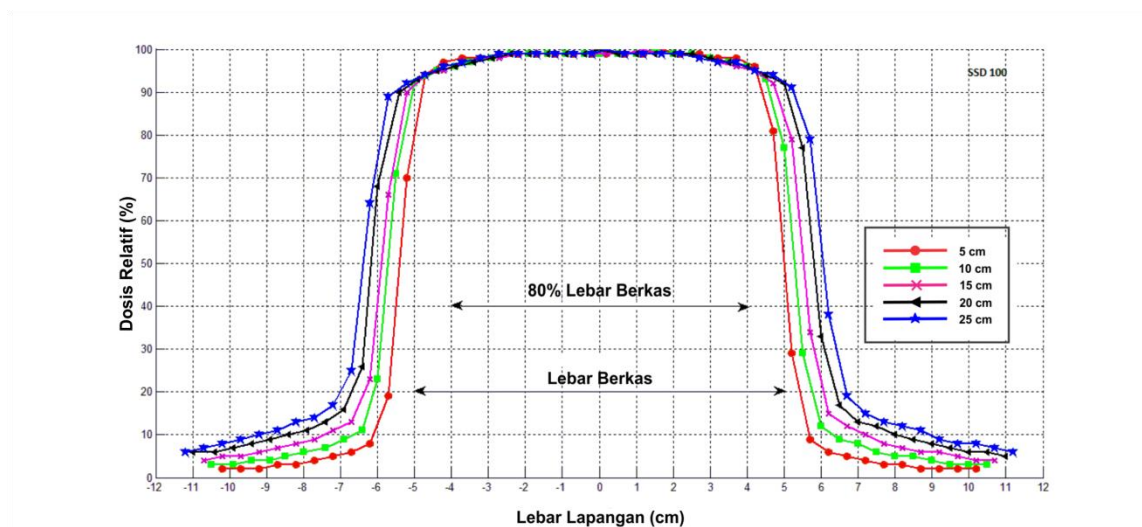
Profil dosis diukur dengan menggunakan energi berkas sinar-X 6 MV dan 10 MV dengan berbagai variasi SSD dan kedalaman, sedangkan lebar lapangan penyinaran konstan, yakni $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Keseluruhan metode pengukuran menggunakan *water phantom* dan detektor *ionisasi chamber*. Data dan hasil dari keseluruhan pengukuran dapat dilihat pada lampiran I. Dari data diperoleh hubungan antara dosis relatif dan lebar lapangan penyinaran yang dapat dilihat pada Grafik IV.3 – Grafik IV.8.

IV.2.1 Pengukuran Profil Dosis Berkas Sinar-X 6 MV

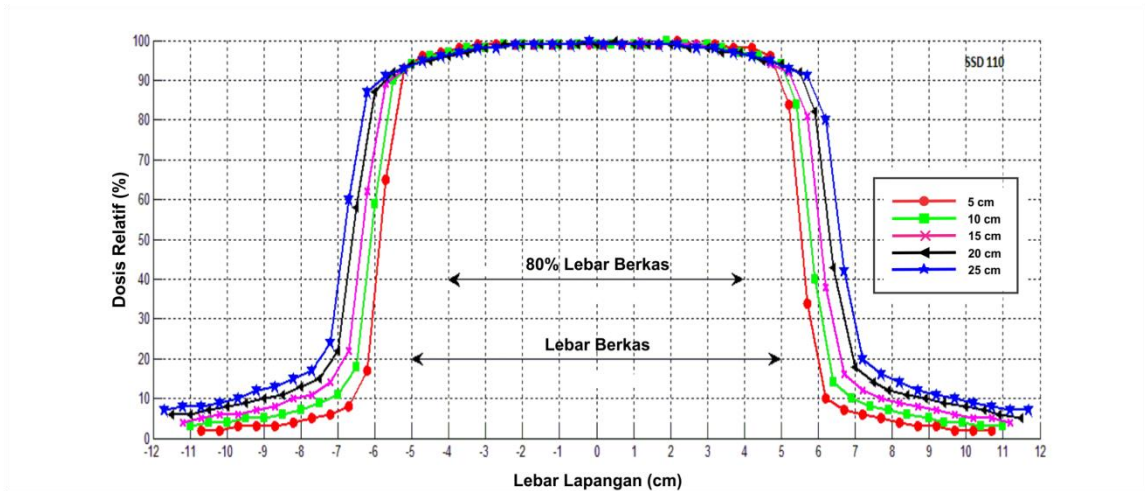
Grafik IV.3 Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 90 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.



Grafik IV.4 Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 100 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.

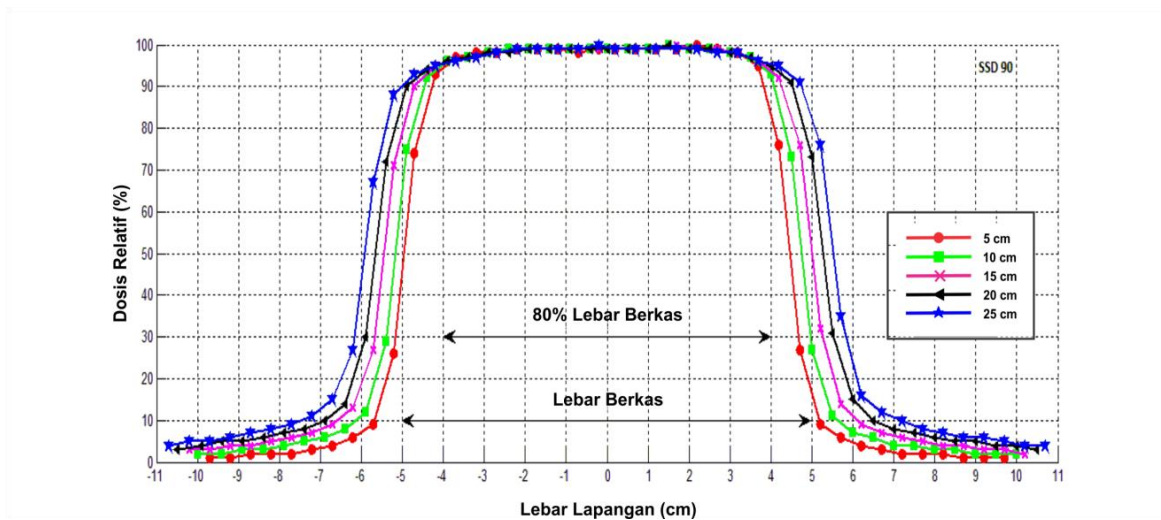


Grafik IV.5 Profil dosis berkas sinar-X 6 MV untuk SSD 110 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.

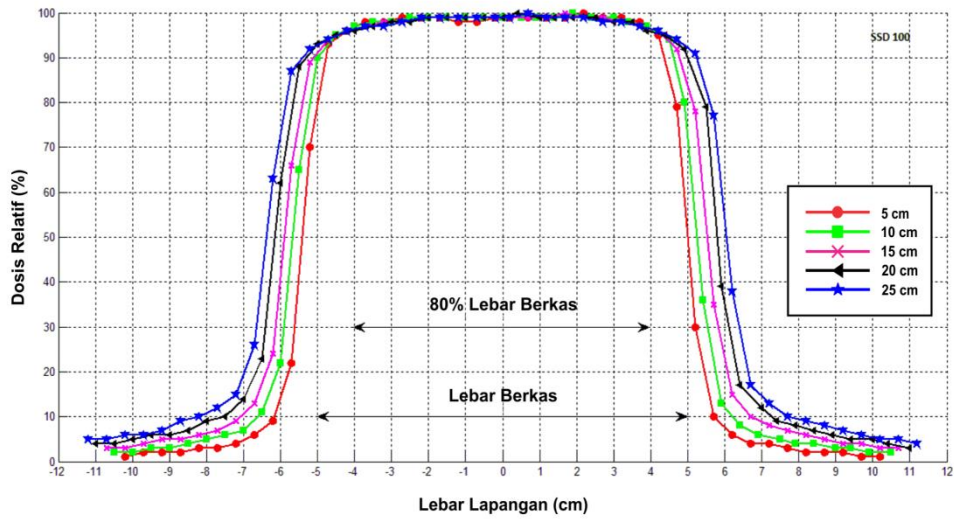


IV.2.2 Pengukuran Profil Dosis Berkas Sinar-X 10 MV

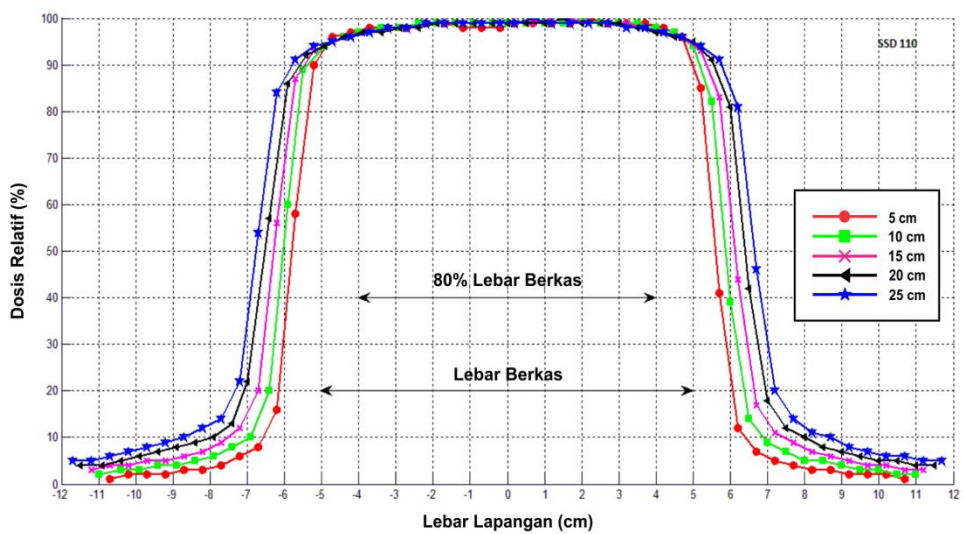
Grafik IV.6 Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 90 cm pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm.



Grafik IV.7 Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 100 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm.



Grafik IV.8 Profil dosis berkas sinar-X 10 MV untuk SSD 110 cm pada kedalaman 5cm, 10 cm, 15cm, 20 cm, dan 25 cm.



Profil dosis digambarkan sebagai kurva yang menunjukkan bentuk muka sinar pada sumbu horizontal yang tegak lurus dari arah datangnya sinar.¹⁹ Bentuk muka sinar tersebut sangat erat kaitannya dengan simetri berkas dan *flatness* (kerataan berkas). Secara keseluruhan simetri dan *flatness* ditentukan dari nilai-nilai yang berada pada daerah sentral 80 % dari lebar berkas, dimana berkas tersebar secara optimal karena masih berada dalam pengaruh kolimator luas lapangan.

Simetri berkas menunjukkan kesesuaian dosis daerah kiri dan kanan. Nilai simetri berkas yang diperoleh dari Grafik (IV.3–IV.8) dijelaskan pada lampiran III dan hasilnya dapat diamati melalui tabel pada lampiran II. Nilai simetri berkas yang ditunjukkan pada lampiran II sangat ditentukan oleh besar-kecilnya SSD. Semakin besar SSD yang digunakan maka semakin kecil pula nilai simetri yang diperoleh. Dari ketiga SSD untuk energi sinar-X 6 MV dan 10 MV, nilai simetri pada SSD 90 secara umum adalah yang terbesar di setiap kedalamannya, kemudian SSD 100, dan yang terkecil SSD 110. Dari tabel pada lampiran II tidak satupun dari nilai simetri yang mencapai nilai ideal (0%). Hanya SSD 110 saja yang masih dalam batas toleransi ($S < 2\%$), yakni pada kedalaman 20 dan 25 cm untuk berkas energi 6 MV, sedangkan untuk berkas energi 10 MV memenuhi standar toleransi untuk seluruh tingkat kedalaman yang digunakan. Hal tersebut menandakan bahwa terjadi ketidakseimbangan sebaran dosis antara daerah kiri dan daerah kanan, ini dapat dibuktikan dengan melihat Grafik (IV.3–IV.8) yang cenderung ke kiri. Selain simetri, *flatness* merupakan salah satu parameter dari profil dosis. *Flatness* dari Grafik (IV.3 – IV.8) secara keseluruhan diperoleh melalui

persamaan yang dijelaskan dalam lampiran III yang ditentukan berdasarkan nilai dosis maksimum dan nilai dosis minimum pada setiap tingkatan kedalaman. Hasil dari perhitungan *flatness* dapat diamati pada Tabel IV.3 dan Tabel IV.4.

Tabel IV.3 Perbandingan *flatness* profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 6 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

<i>Flatness Profile Dose Berkas Sinar-X 6 MV</i>							
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Pengukuran			Acuan		
		Dmax (%)	Dmin (%)	<i>Flatness</i> (%)	Dmax (%)	Dmin (%)	<i>Flatness</i> (%)
90	5	100	81,18	10,39	100	94.27	2,93
	10	100	89,38	5,61	100	94.3	2,93
	15	100	93,2	3,51	100	94.35	2,92
	20	100	93,6	3,31	100	95.13	2,94
	25	100	94,4	2,88	100	95.36	2,38
100	5	100	96,8	1,63	100	94.39	2,89
	10	100	95,8	2,15	100	94.40	2,88
	15	100	95,4	2,35	100	95.91	2,09
	20	100	95,8	2,15	100	96.83	1,61
	25	100	95,8	2,15	100	96.89	1,58
110	5	100	97,4	1,32	100	96,36	1,85
	10	100	96,8	1,63	100	96,78	1,64
	15	100	96,4	1,83	100	96,82	1,62
	20	100	96	2,04	100	96,87	1,59
	25	100	96,4	1,83	100	97.4	1,32

Tabel IV.4 Perbandingan *flatness* profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 10 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

<i>Flatness Profile Dose Berkas Sinar-X 10 MV</i>							
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Pengukuran			Acuan		
		Dmax (%)	Dmin (%)	<i>Flatness</i> (%)	Dmax (%)	Dmin (%)	<i>Flatness</i> (%)
90	5	100	83,59	8,94	100	94,32	2,92
	10	100	93	3,63	100	94,75	2,70
	15	100	93,6	3,31	100	95,27	2,42
	20	100	95	2,56	100	95,44	2,33
	25	100	95,4	2,35	100	95,56	2,27
100	5	100	96,2	1,94	100	94,88	2,63
	10	100	96,5	1,78	100	95,50	2,3
	15	100	96,4	1,83	100	96,16	1,96
	20	100	95,8	2,15	100	96,73	1,66
	25	100	96,4	1,83	100	97,03	1,51
110	5	100	97,4	1,38	100	96,23	1,92
	10	100	97	1,52	100	96,56	1,75
	15	100	96,4	1,83	100	97,31	1,36
	20	100	96,8	1,63	100	97,58	1,22
	25	100	96,4	1,83	100	97,8	1,11

Tabel IV.3 maupun Tabel IV.4 menunjukkan bahwa selain besar energi sinar-X yang digunakan, *flatness* dari profil dosis juga sangat ditentukan oleh SSD dan kedalaman. Semakin besar energi, SSD, dan kedalaman yang digunakan maka

semakin kecil nilai *flatness* yang diperoleh. Semakin kecil nilai *flatness* maka semakin mendekati pula nilai ideal (0%). Sama halnya dengan simetri, tidak ada satu pun nilai *flatness* yang mencapai ideal. Untuk SSD 90 dari energi berkas sinar-X 6 MV dan 10 MV rata-rata memiliki nilai *flatness* yang cukup tinggi. Hanya pada kedalaman 25 cm untuk energi sinar-X 6 MV dan pada kedalaman 20 cm - 25 cm untuk energi sinar-X 10 MV yang tetap berada dalam batas toleransi ($F < 3\%$). Ini disebabkan jarak antara sumber energi dan permukaan medium (SSD) yang terlalu dekat sehingga mengakibatkan nilai *flatness* yang mendekati nilai ideal berada jauh dari kedalaman permukaan. Sedangkan untuk SSD 100 dan 110 pada masing-masing energi memiliki nilai *flatness* yang tetap berada dalam batas toleransi pada setiap tingkatan kedalamannya.

Hampir secara keseluruhan nilai *flatness* yang diperoleh menunjukkan hasil yang mendekati ideal. Meskipun demikian, hal tersebut belum memenuhi syarat untuk dilakukannya pengobatan kanker. Sebab, parameter lain dari profil dosis yaitu simetri berkas harus pula berada dalam keadaan yang optimal. Untuk berkas energi 6 MV, simetri berkas yang memenuhi syarat hanya pada SSD 110, itupun pada kedalaman 20 dan 25 cm saja. Sedangkan berkas energi 10 MV, memenuhi syarat untuk seluruh tingkat kedalaman pada SSD 110.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengukuran pada pesawat linac baik untuk berkas energi 6 MV maupun berkas energi 10 MV, keadaan optimal untuk pengobatan kanker hanya berada pada SSD 110, yakni di kedalaman 20-25 cm untuk energy 6 MV dan di seluruh tingkat kedalaman untuk energy 10 MV. Padahal secara teori, kondisi paling optimal untuk luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$

berada pada SSD 100 di kedalaman 10 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pesawat linac dalam keadaan kurang baik. Banyak faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan dan ketidakrataan berkas. Salah satunya adalah posisi kepala linac yang tidak tegak lurus terhadap medium penyinaran, pengaturan SSD dan posisi medium penyinaran (fantom) yang masih dilakukan secara manual sehingga memungkinkan terjadinya kesalahan. Selain itu, kemungkinan besar kondisi pesawat linac yang digunakan masih dalam keadaan tidak stabil pasca terjadinya kerusakan beberapa bulan sebelum dilakukannya pengukuran.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar energi yang digunakan maka jarak yang dibutuhkan untuk mencapai titik maksimum akan semakin panjang. Sebelum mencapai titik maksimum, maka nilai PPD bergantung linear kepada nilai SSD. Nilai PDD akan semakin meningkat hingga mencapai titik maksimum, kemudian setelah melewati titik maksimum, nilai PDD cenderung akan menurun seiring bertambahnya kedalaman.
2. Semakin besar energi, SSD, dan kedalaman yang digunakan maka nilai simetri berkas dan *flatness* dari profil dosis akan semakin kecil. Dari ketiga SSD yang digunakan, hanya SSD 110 pada kedalaman 20 cm – 25 cm untuk energi 6 MV dan di seluruh tingkat kedalaman untuk energi 10 MV yang sesuai batas toleransi, sehingga dapat dikatakan layak untuk digunakan dalam pengobatan kanker. Sedangkan pada SSD 90 dan SSD 100, nilai simetri berkas dan *flatness* yang didapatkan jauh melewati batas toleransi.

V.2. Saran

1. Sebaiknya teknologi yang digunakan pada alat linac bisa segera dikembangkan sehingga keseluruhan pengaturan alat dapat dilakukan secara otomatis. Karena ada beberapa tahapan yang masih dilakukan

secara manual, seperti pengisian *water phantom*, pengaturan SSD dan pengaturan posisi medium penyinaran (*water phantom*).

2. Alat linac yang digunakan perlu diperbaiki dan dikalibrasi ulang karena dalam kondisi kurang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Darmawati, Suharni. 2012. *Implementasi Linear Accelator dalam Penanganan Kasus Kanker*. Hal:36-47
2. Hall, EJ. 1994. *Radiobiology for the Radiologist*. Philadelphia: JB Lippincolt Company; Ed-4
3. Joiner, MC. Kogel, AVD. 2009. *Basic Clinical Radiobiology*. Great Britain: Hodder Arnold an Hachette UK Company; Ed-4
4. Beyzadeoglu, M. Ozyigit, G. Ebruli, C. 2010. *Basic Radiaton Oncology*. Berlin: Springer
5. Panular, DB. 2012. *Perbandingan Hasil Pengukuran Parameter Berkas Sinar-X dan Elektron Keluran Pesawat Linac Menggunakan Detektor Matriks dan Fantom Air*. Depok: Universitas Indonesia
6. Anam, Choirul. 2010. *Simulasi Monte Carlo untuk Kontaminasi Elektron Pada Berkas Sinar-X 6 MV Produksi Pesawat Linac Elekta SL15*. Depok: Universitas Indonesia
7. Podgorsak, EB. 1983. *Radiaton Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: Springfied
8. Johns, HE. Cunnungham, JR. 1983. *The Physics of Radilogy*. Illinois: Charles C Thomas Publisher, Springfied
9. Metcalfe, P. Kron, T. Hoban, P. 2007. *The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons*. Madilson: Medical Physics Publishing; Ed-2
10. Susworo, R. 2007. *Radioterapi*, Jakarta: Universitas Indonesia Press

11. Attix, FH. 1986. *Introduction to Radiological Physics and Radiaton Dosimetry*. Madison: WILLEY-VCH
12. Myles, P. Nahum, A. Rosenwald, JC. 2007. *Handbook of radiotherapy physics Theory and Practice*. New York: Taylor & Francis
13. Gabriel, JF. 1996. *Fisika Kedokteran*. Jakarta : EGC Penerbit Buku Kedokteran
14. Putri, ARS. 2012. *Karekteriasi Detektor In Vivo untuk Dosimetri Radioterapi Eksterna*. Depok: Universitas Indonesia
15. Khan, FM. 2003. *The Physics of Radiaton Theraphy*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; Ed-3
16. Cherry, P. Duxbury, AM. 2009. *Practical Radiotherapy Physics And Equioment*. UK: Willey-Blackwell: Ed-2
17. Suharni. Kusminarto. Anggraita, P. 2013. *Analisis Hasil Pengukuran Percentage Depth Dose (Pdd) Berkas Elektron Linac Elekta Rsup Dr. Sardjito*. Hal: 84-88
18. Amalia, T. Kurniawan, B. 2004. *Analisa Profil Berkas Elektron Pesawat Akselerator Linier Medik*. Hal:132-147
19. Ihya, FN. Anam, C. Gunawan, V. *Pembuatan Kurva Isodosis 2D Dengan Menggunakan Kurva Precentage Depth Dose (PDD) dan Profil Dosis dengan Variasi Kedalaman untuk Treatment Planning System*. Indonesia Journal Vol.16 (4), Hal: 121-131
20. Subagiada, K. 2011. *Pengaruh Source Skin Distance (SSD) Terhadap Profil Dosis Radiasi Pesawat Sinar-X*. Vol.10 (1), Hal: 75-82

21. Leung, PMK. 1978. *The Physical Basis of Radiotherapy*. The Ontario Cancer Institute and The Princess Margaret Hospital
22. Wolbarst, AB. et al. 2006. *Advance in Medical Physics 2006*. Medical Physics Publishing
23. Budiarti, CT. Nurman, R. Firmansyah, AF. 2011. *Analisis Kualitas Radiasi dan Kalibrasi Luaran Berkas Foton 6 MV dan 10 MV Pesawat Pemercepat Linier Medik Varian Clinac CX 4566*. Jurnal

LAMPIRAN I

DATA PENGUKURAN

I. PDD

Tabel data penelitian *percentage depth dose* berkas sinar-X 6 MV untuk SSD pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20cm, dan 25 cm

SSD 90			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	49.37	250	26.2
0.7	54.13	248	26.3
3.8	77.68	246	26.7
6.8	92.39	244	27
9.8	98.4	242	27.4
12.8	100	24	27.6
15.8	99.9	238	28
18.8	98.96	236	28.4
21.8	97.79	234	28.8
24.8	96.46	232	29.1
27.8	95.29	23	29.5
30.9	93.8	228	29.7
33.8	92.31	226	30.2
36.8	90.98	224	30.6
39.9	89.58	222	30.6
42.9	88.38	22	31.3
45.9	87.07	218	31.8
48.9	85.6	216	32.1
51.9	84.37	214	32.3
54.9	82.98	212	32.7
57.9	81.67	210	33.5
60.9	80.42	208	33.5
63.9	79.12	206	34.1
67	77.88	204	34.6
69.9	76.52	202	35
73	75.26	199.9	35.4
76	74.02	198	35.9
79	72.8	196	35.3
82	71.67	194	35.8
85	70.49	192	36.1
88	69.28	190	36.6
91	68.04	188	37
94	66.9	186	37.5
97	65.88	184	37.6
100	64.7	181.9	37.5
103	63.6	180	38
106	62.49	178	38.3
109	61.3	176	39
112	60.45	174	39.5
115	59.4	172	40
118	58.42	170	40.4
121	57.43	168	40.9
124	56.36	166	43.4

127	55.24	164	43.9
130	54.28	162	44.5
133	53.48	16	44.1
136	52.59	158	45.6
139	51.59	156	46.1
142	50.63	154	47.4
145	49.81	152	48.5
148	48.93	150	48.5
151	48.15	147.9	49.3
154	47.29	145.9	50
157	46.49	143.9	52.5
160	45.69	142	53.3
163	44.8	140	53.6
166	44	138	54.12
169	43.31	136	55.1
172	42.52	134	55.3
175	41.87	132	56
178	41.02	130	56.8
181	40.19	128	57
184	39.52	126	58
187	38.96	124	58.2
190	38.26	122	59
193	37.64	120	59.3
196	36.94	118	60.1
199	36.21	116	61.3
202	35.66	114	61.9
205	35.07	112	62.7
208	34.45	110	63.3
211	33.9	108	64.2
214	33.27	106	64.4
217	32.6	104	65
220	32.02	102	66.2
223	31.56	100	66.8
226	31	98	67.6
229	30.49	96	68.2
232	30	94	69
235	29.43	91.9	69.2
238	28.92	90	70.3
241	28.45	88	71.1
244	27.94	86	72.3
247	27.46	84	72.4
250	26.96	82	73.3
		80	74.4
		78	75.1
		76	75.7
		73.9	7.
		71.9	77.5
		69.9	78.4
		67.9	79.2
		65.9	80.1
		63.9	80.7
		61.9	81.6
		59.9	82.4
		57.9	83.2
		55.9	84.4
		53.9	85.5
		51.9	85.8
		49.9	86
		47.9	87.9
		45.9	88.1
		43.8	89
		41.8	89.9
		39.8	90.8
		37.8	91.8

		35.8	92.7
		33.8	93
		31.8	94.1
		29.8	95.1
		27.8	96.1
		25.8	96.1
		23.8	97.1
		21.8	98
		19.8	99
		17.8	99.7
		17.8	99.8
		15.8	99.9
		13.8	100
		11.8	99.8
		9.7	95.4
		7.7	91.5
		5.7	82
		3.7	64
		1.7	49.9
		-0.3	43.5

SSD 100			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	49.17	-0.3	45.7
0.7	53.72	1.7	50.2
3.8	77.37	3.7	64
6.8	92.02	5.7	82.1
9.8	98	7.7	91.5
12.8	100	16	48.1
15.8	99.97	9.7	96.4
18.8	99.14	11.8	98.8
21.8	98.06	13.8	99.8
24.8	96.88	22	34.3
27.8	95.68	23	32.5
30.9	94.38	15.8	100
33.8	93.12	24	30.7
36.8	91.73	17.8	99.7
39.9	90.53	17.8	99.7
42.9	89.35	19.8	99.1
45.9	88.06	21.8	98.5
48.9	86.72	23.8	97.7
51.9	85.48	25.8	96.9
54.9	84.19	27.8	96.1
57.9	82.97	29.8	95.2
60.9	81.67	31.8	94.3
63.9	80.41	33.8	93.5
66.9	79.24	35.8	92.7
69.9	77.87	37.8	91.8
73	76.71	39.8	90.8
76	75.67	41.8	89.9
79	74.35	43.8	89
82	73.23	45.9	88.1
85	72.05	47.9	87.4
88	70.93	49.9	86.7
91	69.79	51.9	85.8
94	68.66	53.9	85
97	67.55	55.9	84

100	66.41	57.9	83.2
103	65.34	59.9	82.4
106	64.36	61.9	81.6
109	63.17	63.9	80.7
112	62.21	65.9	80
115	61.34	76	75.9
118	60.41	67.9	79.2
121	59.25	78	75.2
124	58.28	69.9	78.4
127	57.31	80	74.5
130	56.44	71.9	77.5
133	55.46	82	73.6
136	54.68	73.9	76.8
139	53.77	84	72.9
142	52.82	86	72.1
145	51.84	88	71.3
148	50.96	90	70.7
151	50.23	94	69
154	49.38	96	68.2
157	48.64	98	67.6
160	47.81	100	66.8
163	46.94	91.9	69.8
166	46.2	102	66.2
169	45.33	104	65.4
172	44.63	106	64.7
175	43.86	108	64
178	43.07	110	63.3
181	42.38	112	62.7
184	41.58	114	61.9
187	41.02	116	61.3
190	40.36	118	60.6
193	39.69	120	59.9
196	39.03	122	59.2
199	38.27	124	58.7
202	37.61	126	58.1
205	37.11	128	57.3
208	36.49	130	56.7
211	35.86	132	56.1
214	35.2	134	55.5
217	34.63	136	55
220	34.06	138	54.3
223	33.49	140	53.8
226	32.95	142	53.3
229	32.47	150	50.8
232	31.82	152	50.1
235	31.24	143.9	52.5
238	30.85	154	49.6
241	30.27	145.9	52
244	29.74	156	49.1
247	29.3	147.9	51.4
250	28.77	158	48.6
		162	47.5
		164	46.9
		166	46.4
		168	45.9
		170	45.4
		172	45
		174	44.5
		176	44
		178	43.6
		180	43
		184	42
		186	41.5
		188	41

		190	40.6
		181.9	42.5
		192	40.1
		194	39.8
		196	39.3
		198	38.9
		202	38
		204	37.6
		206	37.1
		208	36.7
		199.9	38.4
		210	36.3
		212	35.9
		214	35.5
		216	35.2
		218	34.8
		222	34
		224	33.6
		226	33.3
		228	32.9
		232	32.1
		234	31.8
		236	31.4
		238	31
		242	30.4
		244	30
		246	29.7
		248	29.4
		250	29.1

SSD 110			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	49.02	-0.3	44.1
0.7	53.53	1.7	51.7
3.8	76.81	3.7	63
6.8	91.69	5.7	89.7
9.8	97.82	7.7	90
12.8	99.8	16	96.1
15.8	100	9.7	97.1
18.8	99.07	11.8	98.8
21.8	98.24	13.8	98.7
24.8	97.22	22	98.8
27.8	96.2	23	99
30.8	94.84	15.8	99.5
33.8	93.61	24	99.7
36.9	92.45	17.8	100
39.9	91.16	17.8	99.7
42.9	89.98	19.8	99.4
45.9	88.65	21.8	98.3
48.9	87.54	23.8	96.7
51.9	86.23	25.8	96.3
54.9	85.07	27.8	96.1
57.9	83.81	29.8	95.2
60.9	82.57	31.8	94.9
63.9	81.57	33.8	93.67
66.9	80.33	35.8	91.5
69.9	79	37.8	91.8
73	77.92	39.8	90.8

76	76.7	41.8	89.9
79	75.5	43.8	89
82	74.45	45.9	88.3
85	73.45	47.9	87.6
88	72.32	49.9	86.6
91	71.07	51.9	85.7
94	69.97	53.9	86
97	68.97	55.9	83
100	67.92	57.9	83.3
103	66.73	59.9	82.4
106	65.84	61.9	81.6
109	64.74	63.9	80.7
112	63.88	65.9	80.1
115	62.95	76	79.3
118	61.87	67.9	79.1
121	60.98	78	76
124	59.94	69.9	78.4
127	58.95	80	77.5
130	57.9	71.9	76.5
133	57.03	82	76.6
136	56.27	73.9	76.2
139	55.37	84	72.9
142	54.46	86	72.1
145	53.39	88	71.6
148	52.57	90	71.5
151	51.89	94	68
154	51.03	96	68.2
157	50.17	98	67.7
160	49.38	100	66.4
163	48.63	91.9	66.3
166	47.8	102	66.1
169	46.98	104	65.5
172	46.26	106	64
175	45.55	108	63
178	44.77	110	63.3
181	43.98	112	62.7
184	43.36	114	61.9
187	42.62	116	61
190	41.96	118	60
193	41.3	120	59.7
196	40.67	122	59.6
199	39.83	124	58.3
202	39.26	126	58.1
205	38.62	128	57.3
208	38.11	130	56.7
211	37.56	132	56.1
214	36.87	134	55.5
217	36.15	136	55
220	35.6	138	54.3
223	35.09	140	53.8
226	34.48	142	53.3
229	33.98	150	50.5
232	33.36	152	50.4
235	32.82	143.9	52.5
238	32.3	154	49.6
241	31.75	145.9	52
244	31.27	156	49.1
247	30.74	147.9	51.4
250	30.21	158	48.6
		162	47.5
		164	46.9
		166	46.4
		168	45.9
		170	45.4

		172	45
		174	44.8
		176	44.5
		178	43.6
		180	43.3
		184	42.3
		186	41
		188	41.4
		190	40.6
		181.9	42.5
		192	40.1
		194	39.8
		196	39.4
		198	38.8
		202	37
		204	37.6
		206	37.1
		208	36.7
		199.9	38.4
		210	36.3
		212	35.9
		214	35.7
		216	35.7
		218	34.5
		222	34.1
		224	33.3
		226	33.1
		228	32.7
		232	32.6
		234	31.6
		236	31.4
		238	31
		242	30.4
		244	30
		246	29.3
		248	29.1
		250	28.1

Tabel data penelitian *percentage depth dose* berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20cm, dan 25 cm

SSD 90			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	34.7	250	35.5
0.7	38.53	248	36.4
3.8	59.66	246	36.5
6.8	77.64	244	36.8
9.8	88.26	242	37.3
12.8	94.6	24	37.7
15.8	98.16	238	37.9
18.8	99.46	236	38
21.8	100	234	38.7
24.8	99.74	232	39.9
27.8	99.1	230	40.3
30.8	98.29	228	40.4
33.8	97.02	226	40.7
36.9	95.87	224	41.1
39.9	94.77	222	41.5
42.9	93.48	220	41.6
45.9	92.25	218	41.8
48.9	90.92	216	41.9
51.9	89.68	214	42.2
54.9	88.57	212	42.3
57.9	87.34	21	42.5
60.9	86.28	208	43.9
63.9	85.04	205.9	44.2
66.9	83.92	203.9	44.5
69.9	82.68	202	44.8
73	81.5	200	45.2
76	80.34	198	46.5
79	79.41	196	46.7
82	78.09	194	47.1
85	77.1	192	47.4
88	75.96	189.9	47.6
91	74.86	188	48.1
94	73.76	186	48.6
97	72.82	184	49.3
100	71.63	182	50.1
103	70.57	180	50.5
106	69.58	178	51
109	68.61	176	51.1
112	67.68	174	51.5
115	66.67	172	51.6
118	65.86	170	51.9
121	64.86	168	52.3
124	63.85	166	52.4
127	62.91	164	52.9
130	61.91	162	53.3
133	61.06	160	53.5
136	60.24	158	54
139	59.37	156	55.7
142	58.47	154	55.8
145	57.5	152	56.2
148	56.73	150	57.4
151	55.96	148	57.7
154	55.23	146	57.9

157	54.46	144	58.78
160	53.61	142	59.3
163	52.8	140	60.4
166	52.04	138	60.5
169	51.3	136	60.7
172	50.53	134	60.9
175	49.85	132	61.12
178	49.02	130	61.8
181	48.34	128	62
184	47.61	126	63.9
187	46.98	124	64.2
190	46.31	122	65.8
193	45.58	120	66.2
196	44.97	118	66.6
199	44.3	116	66.9
202	43.67	113.9	67.1
205	43.1	112	67.9
208	42.48	110	68.7
211	41.85	108	69.4
214	41.18	106	70.8
217	40.56	104	70.9
220	39.98	102	71
223	39.4	100	72.7
226	38.94	98	73.5
229	38.26	96	74.1
232	37.8	94	75.3
235	37.19	92	75.9
238	36.65	90	76.4
241	36.17	88	76.8
244	35.73	86	77.6
247	35.17	84	78.2
250	34.7	81.9	78.5
		79.9	78.7
		77.9	79.1
		75.9	80.7
		73.9	81.7
		71.9	81.8
		69.9	82.5
		67.9	83.7
		65.9	84.5
		63.9	84.6
		61.9	85.9
		59.9	86.6
		57.9	87.7
		55.9	88.1
		53.9	88.6
		51.9	89.8
		49.9	90.1
		47.8	90.5
		45.8	92.6
		43.8	93.9
		41.8	94.2
		39.8	94.5
		37.8	95.3
		35.8	95.6
		33.8	96.6
		31.8	97.3
		29.8	97.9
		27.8	98.3
		25.8	98.8
		23.8	99.6
		21.8	100
		19.8	99.8
		17.8	98.5

		15.8	97.4
		13.8	96.7
		11.8	95
		9.7	93.5
		7.7	89.1
		5.7	81.3
		3.7	65.2
		1.7	36.9
		-0.3	32.6

SSD 100			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	34.16	250	36.7
0.7	37.78	248	37.1
3.8	58.73	246	37.4
6.8	76.85	244	37.8
9.8	87.68	242	38.1
12.8	94.21	24	38.5
15.8	97.7	238	38.9
18.8	99.36	236	39.3
21.8	99.87	234	39.7
24.8	100	232	40
27.8	99.33	230	40.4
30.9	98.57	228	40.7
33.8	97.68	226	41.2
36.9	96.49	224	41.5
39.9	95.2	222	41.9
42.9	94.1	220	42.2
45.9	92.94	218	42.6
48.9	91.86	216	42.9
51.9	90.55	214	43.3
54.9	89.58	212	43.8
57.9	88.3	21	44.2
60.9	87.24	208	44.7
63.9	86.01	205.9	45.2
66.9	85.07	203.9	45.6
69.9	83.91	202	45.9
73	82.66	200	46.3
76	81.65	198	46.8
79	80.57	196	47.2
82	79.7	194	47.7
85	78.54	192	48.1
88	77.41	189.9	48.6
91	76.37	188	49.1
94	75.33	186	49.6
97	74.35	184	50
100	73.32	182	50.5
103	72.29	180	50.8
106	71.32	178	51.3
109	70.37	176	51.8
112	69.39	174	52.3
115	68.53	172	52.7
118	67.7	170	53.2
121	66.79	168	53.8
124	65.77	166	54.3
127	64.8	164	54.9
130	63.9	162	55.3
133	63.12	160	55.8

136	62.3	158	56.3
139	61.46	156	56.7
142	60.5	154	57.3
145	59.6	152	57.9
148	58.75	150	58.3
151	58	148	58.9
154	57.27	146	59.5
157	56.43	144	60.1
160	55.73	142	60.7
163	54.81	140	61.3
166	54.06	138	61.8
169	53.37	136	62.3
172	52.68	134	63
175	51.92	132	63.6
178	51.2	130	64
181	50.38	128	64.7
184	49.73	126	65.3
187	49.03	124	65.8
190	48.39	122	66.4
193	47.75	120	67.1
196	46.99	118	67.7
199	46.28	116	68.3
202	45.67	113.9	69
205	45.07	112	69.7
208	44.57	110	70.4
211	43.89	108	70.9
214	43.32	106	71.6
217	42.73	104	72.2
220	42.01	102	72.9
223	41.52	100	73.6
226	40.93	98	74.2
229	40.41	96	74.9
232	39.88	94	75.5
235	39.27	92	76.2
238	38.69	90	77
241	38.19	88	77.5
244	37.74	86	78.3
247	37.21	84	79
250	36.67	81.9	79.8
		79.9	80.5
		77.9	81.2
		75.9	81.9
		73.9	82.7
		71.9	83.4
		69.9	84.1
		67.9	84.7
		65.9	85.5
		63.9	86
		61.9	87
		59.9	87.7
		57.9	88.5
		55.9	89.2
		53.9	89.9
		51.9	90.6
		49.9	91.6
		47.8	92.2
		45.8	93.2
		43.8	93.9
		41.8	94.6
		39.8	95.5
		37.8	96.1
		35.8	96.9
		33.8	97.6
		31.8	98.3

		29.8	98.9
		27.8	99.4
		25.8	99.7
		23.8	100
		21.8	99.8
		19.8	99.4
		17.8	98.7
		15.8	97.3
		13.8	95.2
		11.8	92
		9.7	87.2
		7.7	80.6
		5.7	71.1
		3.7	57.5
		1.7	40.3
		-0.3	33.2

SSD 110			
Pengukuran		Acuan	
Depth (mm)	Dose (%)	Depth (mm)	Dose (%)
-0.5	33.82	250	37.1
0.7	37.28	248	37.5
3.8	58	246	37.8
6.8	76.13	244	37.9
9.8	87.16	242	38
12.8	93.69	24	38.3
15.8	97.64	238	38.4
18.8	99.27	236	38.7
21.8	100	234	38.8
24.8	99.94	232	39.2
27.8	99.66	230	39.6
30.8	98.93	228	39.7
33.8	97.99	226	40.3
36.9	96.83	224	40.9
39.9	95.86	222	41.7
42.9	94.56	220	42.5
45.9	93.63	218	42.9
48.9	92.53	216	43.1
51.9	91.35	214	43.7
54.9	90.39	212	44.4
57.9	89.24	21	44.8
60.9	88.33	208	45.2
63.9	87.28	205.9	45.8
66.9	86.01	203.9	46.7
69.9	84.85	202	47.8
73	83.78	200	48.1
76	82.85	198	48.4
79	81.71	196	48.7
82	80.78	194	48.9
85	79.69	192	49.1
88	78.67	189.9	49.6
91	77.75	188	50.2
94	76.69	186	50.8
97	75.7	184	51.4
100	74.82	182	51.6
103	73.89	180	51.8
106	72.73	178	52.3
109	71.84	176	52.7
112	70.97	174	53.5

115	70.07	172	53.7
118	69.19	170	54.6
121	68.26	168	55
124	67.35	166	55.2
127	66.47	164	55.8
130	65.65	162	56.7
133	64.64	160	57.1
136	64.04	158	57.6
139	63.19	156	57.8
142	62.1	154	58.4
145	61.46	152	58.7
148	60.68	150	59
151	59.78	148	59.7
154	59.06	146	60.3
157	58.37	144	60.8
160	57.49	142	61.5
163	56.61	140	62.7
166	55.86	138	63.4
169	55.14	136	63.9
172	54.45	134	64.1
175	53.64	132	64.8
178	52.97	130	65
181	52.11	128	65.9
184	51.52	126	66.3
187	50.89	124	67.8
190	50.16	122	68.4
193	49.53	120	68.7
196	48.82	118	69.6
199	48.1	116	69.9
202	47.52	113.9	70.3
205	46.94	112	70.7
208	46.4	110	71.4
211	45.75	108	71.9
214	45.12	106	72.6
217	44.32	104	73.2
220	43.86	102	74.9
223	43.26	100	75.8
226	42.72	98	76.1
229	42.1	96	76.9
232	41.57	94	77.3
235	41.01	92	78.1
238	40.5	90	78.9
241	39.93	88	79.3
244	39.46	86	79.7
247	38.88	84	80.3
250	38.31	81.9	80.7
		79.9	81
		77.9	81.8
		75.9	82.9
		73.9	83.5
		71.9	84.7
		69.9	85.4
		67.9	85.7
		65.9	86.2
		63.9	87.7
		61.9	88.2
		59.9	89
		57.9	89.8
		55.9	90
		53.9	90.1
		51.9	90.9
		49.9	91.7
		47.8	92.8
		45.8	93.7

		43.8	94.5
		41.8	95.2
		39.8	95.5
		37.8	96.3
		35.8	96.7
		33.8	97.8
		31.8	98.5
		29.7	99.3
		27.7	99.5
		23.8	99.7
		25.8	100
		21.8	99.7
		19.8	99.5
		17.8	98.5
		15.8	97.3
		13.8	95.2
		11.8	91
		9.7	85.1
		7.7	80.6
		5.7	72.3
		3.7	53.3
		1.7	42.4
		-0.3	34.1

II. Profil Dosis

Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 6 MV pada kedalaman 5cm

ScanColor	ScanType	Radiation Type	Energy	Pengukuran	Acuan
Color [Medium Violet Red]	Crossline	Photons	6 MV	Water	Water
	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dosis (%)
	-107.5	0	50	2.39	2
	-102.4	0	50	2.65	2.6
	-97.4	0	50	3.03	2.7
	-92.5	0	50	3.48	3
	-87.4	0	50	3.99	3.2
	-82.4	0	50	4.64	3.6
	-77.4	0	50	5.54	5.5
	-72.5	0	50	6.72	7.8
	-67.4	0	50	8.7	8.2
	-62.4	0	50	17.09	22.6
	-57.4	0	50	65.36	26.4
	-52.4	0	50	93.53	43.4
	-47.4	0	50	96.54	48.4
	-42.4	0	50	97.88	66.7
	-37.4	0	50	98.55	71.4
	-32.4	0	50	99.01	86
	-27.4	0	50	99.55	88.5
	-22.4	0	50	99.5	94.8
	-17.4	0	50	99.66	95.5
	-12.4	0	50	99.44	97.3
	-7.4	0	50	99.35	97.5
	-2.4	0	50	99.21	98.3
	2.6	0	50	99.37	98.4
	7.6	0	50	99.43	98.7
	12.6	0	50	99.73	98.8
	17.6	0	50	99.87	99
	22.6	0	50	100	99.12
	27.6	0	50	99.68	100
	32.6	0	50	99.3	99
	37.6	0	50	98.79	98.8
	42.5	0	50	98.06	97.07
	47.6	0	50	96.16	96.4
	52.6	0	50	84.92	83.79
	57.5	0	50	34.1	36.45
	62.6	0	50	10.55	9.18
	67.6	0	50	7.46	5.87
	72.6	0	50	6.04	4.65
	77.5	0	50	5.04	3.91
	82.6	0	50	4.27	3.87
	87.6	0	50	3.67	3.2
	92.6	0	50	3.2	2.67
	97.6	0	50	2.84	2.45
	102.6	0	50	2.5	1.89
	107.5	0	50	2.24	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 6 MV pada kedalaman
10cm**

ScanColor Color [SlateBlue]	ScanType Crossline(mm)	Ra diation type:Photons Inline(mm)	Energy 6 MV Depth(mm)	Pengukuran Dose(%)	Acuan Dose(%)
	110	0	100	3.45	2.67
	104.9	0	100	3.83	2.7
	99.9	0	100	4.3	2.89
	94.9	0	100	4.91	3.9
	90	0	100	5.62	4.31
	84.9	0	100	6.45	4.8
	79.9	0	100	7.52	6.87
	74.9	0	100	8.84	8.88
	69.9	0	100	10.59	9.43
	64.9	0	100	14.43	18.7
	59.9	0	100	40.01	23.7
	54.9	0	100	84.63	30.42
	50	0	100	94.36	38.9
	44.9	0	100	96.36	58.5
	39.9	0	100	97.48	81.77
	34.9	0	100	98.51	87.5
	30	0	100	99.26	89.75
	24.9	0	100	99.79	96.8
	19.9	0	100	100	97.54
	14.9	0	100	99.99	97.87
	10	0	100	99.88	98
	4.9	0	100	99.64	98.7
	0	0	100	99.68	98.9
	-5	0	100	99.74	99.11
	-10.1	0	100	99.85	99.4
	-15.1	0	100	99.72	99.67
	-20.1	0	100	99.7	99.89
	-25	0	100	99.63	100
	-30.2	0	100	98.96	99.87
	-35	0	100	98.35	98.15
	-40.1	0	100	97.38	96.9
	-45.1	0	100	96.21	96.3
	-50.1	0	100	94.97	88.79
	-55	0	100	90.8	81.67
	-60	0	100	59.68	60.65
	-65.1	0	100	18.68	45.45
	-70.1	0	100	11.56	23.71
	-75.1	0	100	9.42	17.32
	-80.1	0	100	7.93	8.8
	-85.1	0	100	6.87	4.5
	-90	0	100	5.9	3.68
	-95.1	0	100	5.15	2.45
	-100.1	0	100	4.47	2.31
	-105	0	100	4.01	2.34
	-110	0	100	3.55	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 6 MV pada kedalaman
15cm**

Scan Color	Scan Type	Ra diation type:Photons	Energy 6 MV	Pengukuran	Acuan
Color [Teal]	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	-112.5	0	150	4.92	3.7
	-107.4	0	150	5.49	4.3
	-102.4	0	150	6.08	4.51
	-97.5	0	150	6.84	5.2
	-92.4	0	150	7.81	6.43
	-87.4	0	150	8.88	7.01
	-82.4	0	150	10.16	8.87
	-77.4	0	150	11.79	9.54
	-72.4	0	150	14.14	11.12
	-67.4	0	150	22.2	13.47
	-62.4	0	150	62.86	50.18
	-57.4	0	150	89.61	76.9
	-52.4	0	150	93.64	86.11
	-47.4	0	150	95.49	87.21
	-42.4	0	150	96.35	87.27
	-37.4	0	150	97.49	88.32
	-32.5	0	150	98.38	89.86
	-27.5	0	150	98.95	93.42
	-22.4	0	150	99.32	98.38
	-17.4	0	150	99.59	98.55
	-12.3	0	150	99.68	98.79
	-7.4	0	150	99.83	99.1
	-2.4	0	150	99.85	99.43
	2.7	0	150	99.69	99.58
	7.6	0	150	99.88	99.68
	12.6	0	150	100	99.74
	17.6	0	150	99.88	99.93
	22.6	0	150	99.71	100
	27.5	0	150	99.29	99.85
	32.7	0	150	98.59	99.31
	37.6	0	150	97.73	98.12
	42.5	0	150	96.4	95.02
	47.6	0	150	94.96	89.42
	52.5	0	150	92.76	80.45
	57.6	0	150	81.78	60.65
	62.6	0	150	38.77	33.43
	67.6	0	150	16.45	22.48
	72.6	0	150	12.8	15.07
	77.5	0	150	10.99	9.76
	82.6	0	150	9.49	7.31
	87.7	0	150	8.26	5.78
	92.6	0	150	7.38	4.58
	97.6	0	150	6.48	4.22
	102.6	0	150	5.82	3.98
	107.6	0	150	5.16	3.02
	112.5	0	150	4.64	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 6 MV pada kedalaman
20cm**

Scan Color Color [Orange]	Scan Type Crossline(mm)	Ra diation type:Photons Inline(mm)	Energy 6 MV Depth(mm)	Pengukuran Dose(%)	Acuan Dose(%)
	115	0	200	5.9	4.53
	109.9	0	200	6.57	5.71
	105	0	200	7.27	5.54
	100	0	200	8.06	6.42
	94.9	0	200	9.07	7.6
	89.9	0	200	10.04	8.04
	84.9	0	200	11.33	9.13
	79.9	0	200	12.88	10.78
	75	0	200	14.88	12.44
	70	0	200	18.89	15.65
	64.9	0	200	43.13	52.07
	59.9	0	200	82.73	81.67
	55	0	200	92.04	87.78
	50	0	200	94.23	88.89
	45	0	200	95.65	89.01
	39.9	0	200	97.03	89.66
	34.9	0	200	97.92	91.93
	30	0	200	98.81	95.05
	25	0	200	98.98	98.38
	20	0	200	99.56	98.55
	14.9	0	200	99.7	98.79
	10	0	200	99.71	99.1
	5	0	200	100	99.47
	0	0	200	99.7	99.51
	-5	0	200	99.63	99.65
	-10.1	0	200	99.83	99.87
	-15	0	200	99.67	100
	-20.1	0	200	99.28	99.32
	-25.1	0	200	99.09	98.78
	-30.1	0	200	98.49	98.31
	-35	0	200	97.74	96.14
	-40	0	200	96.77	95.21
	-45.1	0	200	95.56	90.01
	-50	0	200	94.09	82.43
	-55	0	200	92.34	73.93
	-60.1	0	200	87.72	45.54
	-65.1	0	200	58.53	25.15
	-70.1	0	200	22.57	18.19
	-75.1	0	200	15.72	9.87
	-80	0	200	13.44	8.75
	-85.1	0	200	11.83	7.71
	-90.1	0	200	10.55	6.67
	-95.1	0	200	9.38	5.95
	-100.1	0	200	8.33	5.58
	-105.1	0	200	7.46	4.89
	-110	0	200	6.79	4.73
	-115	0	200	6.18	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 6 MV pada kedalaman
25cm**

Scan Color	Scan Type	Ra diation type:Photons	Energy 6 MV	Pengukuran	Acuan
Color [DeepPink]	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	-117.5	0	250	7.31	5.38
	-112.4	0	250	8.03	7.72
	-107.4	0	250	8.81	7.34
	-102.4	0	250	9.68	8.45
	-97.4	0	250	10.78	9.67
	-92.4	0	250	12.03	10.23
	-87.4	0	250	13.41	11.15
	-82.4	0	250	15.02	13.51
	-77.4	0	250	17.3	15.87
	-72.4	0	250	24.93	21.43
	-67.4	0	250	60.82	57.71
	-62.4	0	250	87.22	83.73
	-57.4	0	250	91.89	85.41
	-52.4	0	250	93.79	90.71
	-47.4	0	250	95.33	90.41
	-42.4	0	250	96.51	90.98
	-37.4	0	250	97.5	93.43
	-32.4	0	250	98	95.87
	-27.4	0	250	98.91	96.13
	-22.4	0	250	99.32	97.52
	-17.4	0	250	99.56	97.75
	-12.4	0	250	99.72	98.17
	-7.4	0	250	99.85	99.76
	-2.5	0	250	100	100
	2.6	0	250	99.95	99.76
	7.6	0	250	99.74	99.32
	12.6	0	250	99.66	99.22
	17.6	0	250	99.48	98.77
	22.6	0	250	99.41	98.42
	27.6	0	250	98.87	98.11
	32.7	0	250	98.22	96.74
	37.6	0	250	97.6	95.78
	42.6	0	250	96.35	95.57
	47.6	0	250	95.21	95.43
	52.7	0	250	93.63	93.44
	57.5	0	250	91.22	90.76
	62.6	0	250	80.97	77.09
	67.6	0	250	42.02	32.23
	72.6	0	250	20.25	21.76
	77.6	0	250	16.42	15.29
	82.5	0	250	14.33	12.83
	87.6	0	250	12.81	11.34
	92.6	0	250	11.4	10.53
	97.5	0	250	10.32	7.31
	102.5	0	250	9.41	6.53
	107.6	0	250	8.48	5.14
	112.6	0	250	7.62	
	117.5	0	250	7.13	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman
5cm**

ScanColor	ScanType	RadiationType	Energy	Pengukuran	Acuan
Color [MediumVioletRed]	Crossline	Photons	10 MV	Water	Water
	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	107.5	0	50	1.87	1.05
	102.5	0	50	2.1	2.01
	97.4	0	50	2.44	2.54
	92.4	0	50	2.76	2.82
	87.5	0	50	3.19	3.35
	82.5	0	50	3.74	3.68
	77.4	0	50	4.47	4.13
	72.3	0	50	5.52	6.37
	67.4	0	50	7.34	8.73
	62.5	0	50	12.53	10.67
	57.3	0	50	41.55	38.97
	52.4	0	50	85.69	51.61
	47.4	0	50	96.18	57.94
	42.4	0	50	98.48	66.7
	37.4	0	50	99.31	70.01
	32.4	0	50	99.69	83.55
	27.4	0	50	99.98	88.67
	22.4	0	50	100	92.29
	17.4	0	50	99.84	96.74
	12.4	0	50	99.55	97.3
	7.4	0	50	99.27	97.5
	2.5	0	50	99.01	98.38
	-2.7	0	50	98.93	98.62
	-7.7	0	50	98.97	99.07
	-12.5	0	50	98.91	99.76
	-17.6	0	50	99.01	100
	-22.7	0	50	99.18	99.12
	-27.6	0	50	98.95	99.03
	-32.5	0	50	98.69	98.75
	-37.6	0	50	98.36	98.81
	-42.6	0	50	97.78	97.52
	-47.7	0	50	96.25	93.54
	-52.8	0	50	90.43	81.45
	-57.6	0	50	58.43	32.41
	-62.6	0	50	16.98	10.81
	-67.5	0	50	8.46	8.81
	-72.6	0	50	6.01	5.53
	-77.6	0	50	4.82	5.16
	-82.6	0	50	3.95	3.87
	-87.5	0	50	3.36	3.45
	-92.6	0	50	2.89	2.65
	-97.6	0	50	2.52	2.41
	-102.6	0	50	2.16	1.17
	-107.5	0	50	1.92	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman
10cm**

ScanColor	ScanType	RadiationType	Energy 10 MV	Pengukuran	Acuan
Color [SlateBlue]	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	-110	0	100	2.74	1.79
	-104.9	0	100	3.08	2.24
	-99.9	0	100	3.57	2.78
	-94.9	0	100	4.09	3.26
	-89.9	0	100	4.74	3.51
	-84.9	0	100	5.53	4.69
	-79.9	0	100	6.54	6.15
	-74.8	0	100	8.02	7.97
	-69.9	0	100	10.84	9.58
	-64.9	0	100	20.25	21.45
	-59.9	0	100	60.41	46.76
	-55	0	100	89.55	77.43
	-49.9	0	100	94.92	86.76
	-44.9	0	100	96.89	91.44
	-40	0	100	97.82	93.71
	-34.9	0	100	98.54	93.92
	-29.9	0	100	98.85	95.76
	-24.9	0	100	99.15	96.13
	-19.9	0	100	99.36	97.21
	-14.9	0	100	99.17	98.12
	-9.9	0	100	99.38	98.36
	-4.9	0	100	99.32	98.71
	0.1	0	100	99.41	98.82
	5.1	0	100	99.65	99.88
	10.1	0	100	99.75	99.93
	15.1	0	100	99.86	99.97
	20.1	0	100	100	100
	25.1	0	100	99.75	99.94
	30.1	0	100	99.72	99.73
	35.1	0	100	99.26	98.24
	40.1	0	100	98.46	98.15
	45	0	100	97.19	95.39
	50.1	0	100	94.33	84.42
	55.1	0	100	82.46	81.65
	60.1	0	100	39.26	65.98
	65.1	0	100	14.44	51.03
	70.1	0	100	9.32	20.87
	75.1	0	100	7.24	19.23
	80.1	0	100	5.98	6.09
	85.1	0	100	5.1	5.53
	90	0	100	4.32	2.34
	95.1	0	100	3.78	1.86
	100.1	0	100	3.3	2.31
	105.1	0	100	2.94	2.34
	110	0	100	2.62	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman
15cm**

ScanColor	ScanType	RadiationType	Energy 10 MV	Pengukuran	Acuan
Color [Teal]	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	112.5	0	150	3.41	2.86
	107.3	0	150	3.9	3.57
	102.4	0	150	4.4	4.19
	97.5	0	150	4.98	5.23
	92.4	0	150	5.69	5.39
	87.4	0	150	6.51	7.28
	82.5	0	150	7.58	7.32
	77.5	0	150	9.05	9.46
	72.5	0	150	11.41	10.78
	67.5	0	150	17.15	15.53
	62.4	0	150	44.04	51.11
	57.5	0	150	83.23	79.05
	52.3	0	150	93.51	86.37
	47.4	0	150	96.17	86.89
	42.4	0	150	97.68	88.12
	37.5	0	150	98.54	88.42
	32.4	0	150	99.19	88.68
	27.4	0	150	99.56	91.75
	22.5	0	150	99.91	97.34
	17.4	0	150	100	97.51
	12.5	0	150	100	98.53
	7.4	0	150	99.72	99
	2.4	0	150	99.56	99.32
	-2.6	0	150	99.44	99.48
	-7.5	0	150	99.56	99.62
	-12.6	0	150	99.53	99.67
	-17.6	0	150	99.21	99.88
	-22.6	0	150	99.26	100
	-27.5	0	150	98.72	99.89
	-32.6	0	150	98.34	99.63
	-37.5	0	150	97.72	98.57
	-42.5	0	150	96.89	96.53
	-47.6	0	150	95.59	89.33
	-52.6	0	150	93.51	80.74
	-57.6	0	150	87.1	68.25
	-62.6	0	150	56	47.38
	-67.5	0	150	20.57	25.52
	-72.5	0	150	12.28	13.14
	-77.6	0	150	9.49	9.66
	-82.5	0	150	7.93	8.45
	-87.5	0	150	6.85	5.86
	-92.5	0	150	5.91	5.51
	-97.5	0	150	5.18	4.14
	-102.5	0	150	4.57	3.32
	-107.5	0	150	4.06	2.54
	-112.5	0	150	3.56	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman
20cm**

ScanColor	ScanType	RadiationType	Energy 10 MV	Pengukuran	Acuan
Color [Orange	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	-115	0	200	4.4	3.87
	-109.9	0	200	4.84	4.35
	-104.9	0	200	5.59	5.71
	-99.9	0	200	6.24	6.31
	-94.9	0	200	7.14	6.89
	-89.9	0	200	8.02	8.12
	-84.9	0	200	9.24	8.37
	-79.9	0	200	10.97	9.11
	-74.9	0	200	13.87	11.74
	-70	0	200	22.78	19.76
	-64.9	0	200	57.71	51.54
	-59.9	0	200	86.29	80.76
	-54.9	0	200	92.56	88.23
	-49.9	0	200	94.8	92.54
	-44.9	0	200	96.16	93.23
	-39.9	0	200	97.12	93.58
	-34.9	0	200	97.85	95.13
	-29.9	0	200	98.56	97.79
	-24.9	0	200	98.84	97.81
	-19.9	0	200	99.06	98.31
	-14.9	0	200	99.34	98.52
	-9.9	0	200	99.43	99.27
	-4.9	0	200	99.45	99.36
	0.1	0	200	99.46	99.54
	5.1	0	200	99.74	99.78
	10	0	200	99.95	99.92
	15.1	0	200	100	100
	20.1	0	200	99.82	99.67
	25	0	200	99.5	99.15
	30	0	200	99.19	97.85
	35.1	0	200	98.49	97.31
	40.1	0	200	97.82	96.56
	45.1	0	200	96.76	92.57
	50.1	0	200	95.27	89.17
	55.1	0	200	91.87	84.35
	60.1	0	200	81.07	80.34
	65.1	0	200	42.38	41.76
	70.1	0	200	18.22	15.68
	75.1	0	200	12.63	11.27
	80.1	0	200	10.3	9.77
	85.1	0	200	8.86	7.54
	90.1	0	200	7.77	6.89
	95.1	0	200	6.73	6.21
	100.1	0	200	5.91	5.39
	105.1	0	200	5.24	3.67
	110.1	0	200	4.69	3.12
	115	0	200	4.26	

**Tabel Data Penelitian Profil dosis berkas sinar-X 10 MV pada kedalaman
25cm**

ScanColor	ScanType	RadiationType	Energy 10 MV	Pengukuran	Acuan
Color [DeepPink]	Crossline(mm)	Inline(mm)	Depth(mm)	Dose(%)	Dose(%)
	117.5	0	250	5.06	4.34
	112.5	0	250	5.61	5.23
	107.5	0	250	6.27	5.76
	102.4	0	250	6.98	6.34
	97.4	0	250	7.85	6.87
	92.4	0	250	8.93	7.13
	87.5	0	250	10.11	8.33
	82.4	0	250	11.59	10.52
	77.4	0	250	14.15	13.89
	72.4	0	250	20.21	20.67
	67.4	0	250	46.56	43.74
	62.5	0	250	81.82	81.35
	57.4	0	250	91.61	89.56
	52.4	0	250	94.65	91.34
	47.5	0	250	96.41	95.87
	42.5	0	250	97.38	95.92
	37.4	0	250	98.4	97.24
	32.4	0	250	98.96	97.56
	27.4	0	250	99.62	97.85
	22.4	0	250	99.78	98.01
	17.5	0	250	99.93	98.46
	12.4	0	250	99.92	99.53
	7.5	0	250	100	99.81
	2.4	0	250	99.9	100
	-2.5	0	250	99.8	99.83
	-7.5	0	250	99.51	99.67
	-12.5	0	250	99.34	99.36
	-17.6	0	250	99.38	98.83
	-22.5	0	250	99.28	98.74
	-27.6	0	250	98.6	98.59
	-32.6	0	250	98.14	97.33
	-37.5	0	250	97.57	95.83
	-42.6	0	250	96.74	95.7
	-47.6	0	250	95.62	92.46
	-52.6	0	250	94.43	92.11
	-57.6	0	250	91.75	90.23
	-62.5	0	250	84.44	81.88
	-67.6	0	250	54.32	46.51
	-72.6	0	250	22.62	23.56
	-77.5	0	250	14.82	14.78
	-82.6	0	250	12.05	11.43
	-87.5	0	250	10.3	11.68
	-92.6	0	250	9.06	8.45
	-97.5	0	250	8.03	7.21
	-102.6	0	250	7.18	5.86
	-107.6	0	250	6.48	5.23
	-112.6	0	250	5.8	4.76
	-117.5	0	250	5.3	

LAMPIRAN II

TABEL HASIL PENELITIAN

Tabel perbandingan *flatness* profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 6 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

Simetri Profile Dose Berkas Sinar-X 6 MV									
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis Relatif (%)	Pengukuran (p)				\bar{S}_p (%)	Batas (Kiri=kanan) (cm)	\bar{S}_A (%)
			Batas kiri (cm)	Batas Kanan (cm)	S (%)				
90	5	90	43,79	38,09	6,96	6,89	19,84	0	
		80	47,09	40,26	7,82		19,89		
		70	48,04	42,2	6,47		19,91		
		60	48,98	43,18	6,29		20,03		
	10	90	45,88	39,83	7,06	6,64	19,85	0	
		80	48,82	42,61	6,79		19,87		
		70	50,61	44,51	6,41		19,89		
		60	51,63	45,53	6,28		20,2		
	15	90	47,67	42,53	5,70	5,63	19,81	0	
		80	51	45,16	6,07		19,82		
		70	52,75	47,32	5,43		19,88		
		60	53,81	48,38	5,31		20,01		
	20	90	50,28	44,7	5,87	4,88	19,82	0	
		80	53,06	48,23	4,77		19,83		
		70	55,33	50,57	4,49		19,93		
		60	56,44	51,7	4,38		20,01		
	25	90	52,29	47,28	5,03	4,78	19,86	0	
		80	55,23	50,05	4,92		19,89		
		70	57,47	52,36	4,65		19,92		
		60	58,63	53,55	4,53		20,5		
100	5	90	47,83	44	4,17	3,73	19,87	0	
		80	49,92	47,1	2,91		19,89		
		70	52	48,06	3,94		19,94		
		60	52,98	49,02	3,88		20,02		
	10	90	50,48	45,94	4,71	4,14	19,82	0	
		80	52,86	49,06	3,73		19,89		
		70	55,1	50,73	4,07		19,95		
		60	56,15	51,77	4,06		20,01		
	15	90	52	47,77	4,24	3,70	19,85	0	
		80	54,08	51,62	2,33		19,86		
		70	56,17	53	2,90		19,91		
		60	57,7	54,11	5,31		20,03		
	20	90	54	50,67	3,18	3,02	19,89	0	
		80	56,73	54	2,47		19,93		
		70	59,46	55,8	3,18		19,96		
		60	60,76	56,93	3,25		20,01		
	25	90	55,33	52,42	2,70	2,38	19,87	0	
		80	58,8	56,58	1,92		19,93		

		70	60,8	58,1	2,27		19,95	0
		60	62,51	59,32	2,62		20,01	
110	5	90	52,54	49,5	2,97	2,51	19,88	0
		80	54,32	52,4	1,80		19,93	
		70	56,11	53,4	2,47		19,97	
		60	57,52	54,4	2,79		20,02	
		90	54,99	51,6	3,18		19,89	
	10	80	56,61	54,46	1,94	2,53	19,91	0
		70	58,23	55,59	2,32		19,97	
		60	59,84	56,73	2,67		20,03	
		90	55,75	52,91	2,61		19,90	
	15	80	58,67	57,12	1,34	2,04	19,94	0
		70	60,52	58,28	1,89		19,95	
		60	62,25	59,44	2,31		20,03	
		90	57	55,8	1,06		19,92	
	20	80	61,21	59,26	1,62	0,43	19,93	0
		70	62,93	60,54	1,94		19,98	
		60	64,65	61,82	2,24		20,04	
90		58,25	57,46	0,68	19,91			
25	80	63,3	62	1,04	1,24	91,94	0	
	70	65,15	63,32	1,42		19,97		
	60	67	64,63	1,80		20,06		
	90							

Tabel perbandingan *flatness* profil dosis pada SSD 90, SSD 100, dan SSD 110 untuk berkas Sinar-X 10 MV dalam berbagai tingkat kedalaman.

Simetri Profile Dose Berkas Sinar-X 6 MV								
SSD (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis Relatif (%)	Pengukuran (p)			\bar{S}_p (%)	Batas (Kiri=kanan) (cm)	\bar{S}_A (%)
			Batas kiri (cm)	Batas Kanan (cm)	S (%)			
90	5	90	43,79	38,09	6,96	6,89	19,84	0
		80	47,09	40,26	7,82		19,89	
		70	48,04	42,2	6,47		19,91	
		60	48,98	43,18	6,29		20,03	
	10	90	45,88	39,83	7,06	6,64	19,85	0
		80	48,82	42,61	6,79		19,87	
		70	50,61	44,51	6,41		19,89	
		60	51,63	45,53	6,28		20,2	
	15	90	47,67	42,53	5,70	5,63	19,81	0
		80	51	45,16	6,07		19,82	
		70	52,75	47,32	5,43		19,88	
		60	53,81	48,38	5,31		20,01	
	20	90	50,28	44,7	5,87	4,88	19,82	0
		80	53,06	48,23	4,77		19,83	
		70	55,33	50,57	4,49		19,93	
		60	56,44	51,7	4,38		20,01	
	25	90	52,29	47,28	5,03	4,78	19,86	0
		80	55,23	50,05	4,92		19,89	

		70	57,47	52,36	4,65		19,92	
		60	58,63	53,55	4,53		20,5	
100	5	90	47,83	44	4,17	3,73	19,87	0
		80	49,92	47,1	2,91		19,89	
		70	52	48,06	3,94		19,94	
		60	52,98	49,02	3,88		20,02	
	10	90	50,48	45,94	4,71	4,14	19,82	0
		80	52,86	49,06	3,73		19,89	
		70	55,1	50,73	4,07		19,95	
		60	56,15	51,77	4,06		20,01	
	15	90	52	47,77	4,24	3,70	19,85	0
		80	54,08	51,62	2,33		19,86	
		70	56,17	53	2,90		19,91	
		60	57,7	54,11	5,31		20,03	
	20	90	54	50,67	3,18	3,02	19,89	0
		80	56,73	54	2,47		19,93	
		70	59,46	55,8	3,18		19,96	
		60	60,76	56,93	3,25		20,01	
25	90	55,33	52,42	2,70	2,38	19,87	0	
	80	58,8	56,58	1,92		19,93		
	70	60,8	58,1	2,27		19,95		
	60	62,51	59,32	2,62		20,01		
110	5	90	52,54	49,5	2,97	2,51	19,88	0
		80	54,32	52,4	1,80		19,93	
		70	56,11	53,4	2,47		19,97	
		60	57,52	54,4	2,79		20,02	
	10	90	54,99	51,6	3,18	2,53	19,89	0
		80	56,61	54,46	1,94		19,91	
		70	58,23	55,59	2,32		19,97	
		60	59,84	56,73	2,67		20,03	
	15	90	55,75	52,91	2,61	2,04	19,90	0
		80	58,67	57,12	1,34		19,94	
		70	60,52	58,28	1,89		19,95	
		60	62,25	59,44	2,31		20,03	
	20	90	57	55,8	1,06	0,43	19,92	0
		80	61,21	59,26	1,62		19,93	
		70	62,93	60,54	1,94		19,98	
		60	64,65	61,82	2,24		20,04	
25	90	58,25	57,46	0,68	1,24	19,91	0	
	80	63,3	62	1,04		91,94		
	70	65,15	63,32	1,42		19,97		
	60	67	64,63	1,80		20,06		

LAMPIRAN III

PERHITUNGAN SIMETRI *PROFILE DOSE*

Simetris Profile Dose

- Berkas Sinar-X 6 MV

$$S = \left| \frac{Batas_{kiri} - Batas_{kanan}}{Batas_{kiri} + Batas_{kanan}} \right| \times 100\%$$

1. SSD 90:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{43,79 - 38,09}{43,79 + 38,09} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,7}{81,88} \right| \times 100\% \\ &= 6,96\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{47,09 - 40,26}{47,09 + 40,26} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{6,83}{87,35} \right| \times 100\% \\ &= 7,82\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{48,04 - 42,2}{48,04 + 42,2} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,84}{90,24} \right| \times 100\% \\ &= 6,47\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{48,98 - 43,18}{48,98 + 43,18} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,8}{92,16} \right| \times 100\% \\ &= 6,29\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{6,96 + 7,82 + 6,47 + 6,29}{4} \end{aligned}$$

$$= \frac{27,54}{4}$$

$$= 6,89\%$$

b). Kedalaman 10 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{45,88 - 39,83}{45,88 + 39,83} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{6,05}{85,71} \right| \times 100\%$$

$$= 7,06\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{48,82 - 42,61}{48,82 + 42,61} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{6,21}{91,43} \right| \times 100\%$$

$$= 6,79\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{50,61 - 44,51}{50,61 + 44,51} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{6,1}{95,12} \right| \times 100\%$$

$$= 6,41\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{51,63 - 45,53}{51,63 + 45,53} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{6,1}{97,16} \right| \times 100\%$$

$$= 6,28\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{7,06 + 6,79 + 6,41 + 6,28}{4}$$

$$= \frac{26,54}{4}$$

$$= 6,64\%$$

c). Kedalaman 15 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{47,67 - 42,53}{47,67 + 42,53} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{5,14}{90,2} \right| \times 100\%$$

$$= 5,70\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{51 - 45,16}{51 + 45,16} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{5,84}{96,16} \right| \times 100\%$$

$$= 6,07\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{52,75 - 47,32}{52,75 + 47,32} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{5,43}{100,07} \right| \times 100\%$$

$$= 5,43\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{53,81 - 48,38}{53,81 + 48,38} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{5,43}{102,19} \right| \times 100\%$$

$$= 5,31\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{5,70 + 6,07 + 5,43 + 5,31}{4}$$

$$= \frac{22,51}{4}$$

$$= 5,63\%$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{50,28 - 44,7}{50,28 + 44,7} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{5,58}{94,98} \right| \times 100\%$$

$$= 5,87\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{53,06 - 48,23}{53,06 + 48,23} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,83}{101,29} \right| \times 100\%$$

$$= 4,77\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{55,33 - 50,57}{55,33 + 50,57} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,76}{105,9} \right| \times 100\%$$

$$= 4,49\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{56,44 - 51,7}{56,44 + 51,7} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,74}{108,14} \right| \times 100\%$$

$$= 4,38\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{5,87 + 4,77 + 4,49 + 4,38}{4}$$

$$= \frac{19,51}{4}$$

$$= 4,88\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{52,29 - 47,28}{52,29 + 47,28} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,01}{99,57} \right| \times 100\% \\ &= 5,03\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{55,23 - 50,05}{55,23 + 50,05} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,18}{105,28} \right| \times 100\% \\ &= 4,92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{57,47 - 52,36}{57,47 + 52,36} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,11}{109,83} \right| \times 100\% \\ &= 4,65\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{58,63 - 53,55}{58,63 + 53,55} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{5,08}{112,18} \right| \times 100\% \\ &= 4,53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{5,03 + 4,92 + 4,65 + 4,53}{4} \\ &= \frac{19,13}{4} \\ &= 4,78\% \end{aligned}$$

2. SSD 100:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{47,83 - 44}{47,83 + 44} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,83}{91,83} \right| \times 100\% \\ &= 4,17\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{49,92 - 47,1}{49,92 + 47,1} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2,82}{97,02} \right| \times 100\% \\ &= 2,91\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{52 - 48,06}{52 + 48,06} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,94}{100,06} \right| \times 100\% \\ &= 3,94\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{52,98 - 49,02}{52,98 + 49,02} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,96}{102} \right| \times 100\% \\ &= 3,88\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{4,17 + 2,91 + 3,94 + 3,88}{4} \\ &= \frac{14,9}{4} \\ &= 3,73\% \end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{50,48 - 45,94}{50,48 + 45,94} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,54}{96,42} \right| \times 100\% \\ &= 4,71\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{52,86 - 49,06}{52,86 + 49,06} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,8}{101,92} \right| \times 100\% \\ &= 3,73\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{55,1 - 50,73}{55,1 + 50,73} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,31}{105,83} \right| \times 100\% \\ &= 4,07\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{56,15 - 51,77}{56,15 + 51,77} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,38}{107,92} \right| \times 100\% \\ &= 4,06\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{4,71 + 3,73 + 4,07 + 4,06}{4} \\ &= \frac{16,57}{4} \\ &= 4,14\% \end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{52 - 47,77}{52 + 47,77} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,23}{99,77} \right| \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{54,08 - 51,62}{54,08 + 51,62} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2,46}{105,7} \right| \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 4,24\%$$

$$= 2,33\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{56,17 - 53}{56,17 + 53} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{57,7 - 54,11}{57,7 - 54,11} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,17}{109,17} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,59}{111,81} \right| \times 100\%$$

$$= 2,90\%$$

$$= 5,31\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{4,24 + 2,33 + 2,90 + 5,31}{4}$$

$$= \frac{14,78}{4}$$

$$= 3,70\%$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{54 - 50,67}{54 + 50,67} \right| \times 100\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{56,73 - 54}{56,73 + 54} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,33}{104,67} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,73}{110,73} \right| \times 100\%$$

$$= 3,18\%$$

$$= 2,47\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{59,46 - 55,8}{59,46 + 55,8} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{60,76 - 56,93}{60,76 + 56,93} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,66}{115,26} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,83}{117,69} \right| \times 100\%$$

$$= 3,18\%$$

$$= 3,25\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{3,18 + 2,47 + 3,18 + 3,25}{4}$$

$$= \frac{12,08}{4}$$

$$= 3,02\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{55,33 - 52,42}{55,33 + 52,42} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,91}{107,75} \right| \times 100\%$$

$$= 2,70\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{58,8 - 56,58}{58,8 + 56,58} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,22}{115,38} \right| \times 100\%$$

$$= 1,92\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{60,8 - 58,1}{60,8 + 58,1} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,7}{118,9} \right| \times 100\%$$

$$= 2,27\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{62,51 - 59,32}{62,51 + 59,32} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,19}{121,83} \right| \times 100\%$$

$$= 2,62\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2,70 + 1,92 + 2,27 + 2,62}{4} \\
&= \frac{9,51}{4} \\
&= 2,38\%
\end{aligned}$$

3. SSD 110:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}
S(90\%) &= \left| \frac{52,54 - 49,5}{52,54 + 49,5} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{3,04}{102,4} \right| \times 100\% \\
&= 2,97\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(80\%) &= \left| \frac{54,32 - 52,4}{54,32 + 52,4} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{1,92}{106,72} \right| \times 100\% \\
&= 1,80\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(70\%) &= \left| \frac{56,11 - 53,4}{56,11 + 53,4} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{2,71}{109,51} \right| \times 100\% \\
&= 2,47\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(60\%) &= \left| \frac{57,52 - 54,4}{57,52 + 54,4} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{3,12}{111,92} \right| \times 100\% \\
&= 2,79\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\
&= \frac{2,97 + 1,80 + 2,47 + 2,79}{4} \\
&= \frac{10,03}{4}
\end{aligned}$$

$$= 2,51\%$$

b). Kedalaman 10 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{54,99 - 51,6}{54,99 + 51,6} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,39}{106,59} \right| \times 100\%$$

$$= 3,18\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{56,61 - 54,46}{56,61 + 54,46} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,15}{111,07} \right| \times 100\%$$

$$= 1,94\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{58,23 - 55,59}{58,23 + 55,59} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,64}{113,82} \right| \times 100\%$$

$$= 2,32\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{59,84 - 56,73}{59,84 + 56,73} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,11}{116,57} \right| \times 100\%$$

$$= 2,67\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{3,18 + 1,94 + 2,32 + 2,67}{4}$$

$$= \frac{10,11}{4}$$

$$= 2,53\%$$

c). Kedalaman 15 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{55,75 - 52,91}{55,75 + 52,91} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,84}{108,66} \right| \times 100\%$$

$$= 2,61\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{58,67 - 57,12}{58,67 + 57,12} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,55}{115,79} \right| \times 100\%$$

$$= 1,34\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{60,52 - 58,28}{60,52 + 58,28} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,24}{118,8} \right| \times 100\%$$

$$= 1,89\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{62,25 - 59,44}{62,25 + 59,44} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,81}{121,69} \right| \times 100\%$$

$$= 2,31\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{2,61 + 1,34 + 1,89 + 2,31}{4}$$

$$= \frac{8,15}{4}$$

$$= 2,04\%$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{57 - 55,8}{57 + 55,8} \right| \times 100\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{61,21 - 59,26}{61,21 + 59,26} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,2}{112,8} \right| \times 100\%$$

$$= 1,06\%$$

$$= \left| \frac{1,95}{120,47} \right| \times 100\%$$

$$= 1,62\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{62,93 - 60,54}{62,93 + 60,54} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,39}{123,47} \right| \times 100\%$$

$$= 1,94\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{64,65 - 61,82}{64,65 + 61,82} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,83}{126,47} \right| \times 100\%$$

$$= 2,24\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{1,06 + 1,62 + 1,94 + 2,24}{4}$$

$$= \frac{1,72}{4}$$

$$= 0,43\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{58,25 - 57,46}{58,25 + 57,46} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,79}{115,71} \right| \times 100\%$$

$$= 0,68\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{63,3 - 62}{63,3 + 62} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,3}{125,3} \right| \times 100\%$$

$$= 1,04\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{65,15 - 63,32}{65,15 + 63,32} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,83}{128,47} \right| \times 100\%$$

$$= 1,42\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{67 - 64,63}{67 + 64,63} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,37}{131,63} \right| \times 100\%$$

$$= 1,80\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{0,68 + 1,04 + 1,42 + 1,80}{4}$$

$$= \frac{4,94}{4}$$

$$= 1,24\%$$

- Berkas Sinar-X 10 MV

$$S = \left| \frac{Batas_{kiri} - Batas_{kanan}}{Batas_{kiri} + Batas_{kanan}} \right| \times 100\%$$

1. SSD 90:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{42,79 - 38,32}{42,79 + 38,32} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,47}{81,11} \right| \times 100\% \\ &= 5,51\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{45,42 - 40,95}{45,42 + 40,95} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,47}{85,37} \right| \times 100\% \\ &= 5,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{47,42 - 42,61}{47,42 + 42,61} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,81}{90,03} \right| \times 100\% \\ &= 5,34\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{48,46 - 43,63}{48,46 + 43,63} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,83}{92,09} \right| \times 100\% \\ &= 5,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{5,51 + 5,24 + 5,34 + 5,24}{4} \\ &= \frac{21,33}{4} \\ &= 5,33\% \end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{44,59 - 40,75}{44,59 + 40,75} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,84}{85,34} \right| \times 100\%$$

$$= 4,50\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{47,53 - 43,25}{47,53 + 43,25} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,28}{90,78} \right| \times 100\%$$

$$= 4,71\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{49,54 - 45,33}{49,54 + 45,33} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,21}{94,87} \right| \times 100\%$$

$$= 4,44\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{50,63 - 46,41}{50,63 + 46,41} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,22}{97,04} \right| \times 100\%$$

$$= 4,35\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{4,50 + 4,71 + 4,44 + 4,35}{4}$$

$$= \frac{18}{4}$$

$$= 4,5\%$$

c). Kedalaman 15 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{47 - 42,62}{47 + 42,62} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,38}{89,62} \right| \times 100\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{49,63 - 45,75}{49,63 + 45,75} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,88}{95,38} \right| \times 100\%$$

$$= 4,89\%$$

$$= 4,07\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{52,11 - 47,68}{52,11 + 47,68} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{53,25 - 48,82}{53,25 + 48,82} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,43}{99,79} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{4,43}{102,07} \right| \times 100\%$$

$$= 4,44\%$$

$$= 4,34\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{4,89 + 4,07 + 4,44 + 4,34}{4}$$

$$= \frac{17,74}{4}$$

$$= 4,44\%$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{49 - 45,28}{49 + 45,28} \right| \times 100\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{51,78 - 48,05}{51,78 + 48,05} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,72}{94,98} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,73}{99,83} \right| \times 100\%$$

$$= 3,92\%$$

$$= 3,74\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{54,24 - 50,36}{54,24 + 50,36} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{55,43 - 51,55}{55,43 + 51,55} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,88}{104,6} \right| \times 100\% = 3,71\%$$

$$= \left| \frac{3,88}{106,98} \right| \times 100\% = 3,63\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{3,92 + 3,74 + 3,71 + 3,63}{4}$$

$$= \frac{15}{4}$$

$$= 3,75\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{50 - 47,33}{50 + 47,33} \right| \times 100\% = 2,74\%$$

$$= \left| \frac{2,67}{97,33} \right| \times 100\%$$

$$= 2,74\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{53,9 - 50,67}{53,9 + 50,67} \right| \times 100\% = 3,09\%$$

$$= \left| \frac{3,23}{104,57} \right| \times 100\%$$

$$= 3,09\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{56,29 - 52,73}{56,29 + 52,73} \right| \times 100\% = 3,27\%$$

$$= \left| \frac{3,56}{109,02} \right| \times 100\%$$

$$= 3,27\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{57,88 - 53,95}{57,88 + 53,95} \right| \times 100\% = 3,51\%$$

$$= \left| \frac{3,93}{111,83} \right| \times 100\%$$

$$= 3,51\%$$

$$\begin{aligned}\bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{2,74 + 3,09 + 3,27 + 3,51}{4} \\ &= \frac{12,61}{4} \\ &= 3,15\%\end{aligned}$$

2. SSD 100:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}S(90\%) &= \left| \frac{47,65 - 43,56}{47,65 + 43,56} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,09}{91,21} \right| \times 100\% \\ &= 4,48\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(80\%) &= \left| \frac{49,83 - 46,69}{49,83 + 46,69} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,14}{96,52} \right| \times 100\% \\ &= 3,25\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(70\%) &= \left| \frac{52 - 47,92}{52 + 47,92} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,08}{99,92} \right| \times 100\% \\ &= 4,08\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(60\%) &= \left| \frac{53,04 - 48,94}{53,04 + 48,94} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{4,1}{101,98} \right| \times 100\% \\ &= 4,02\%\end{aligned}$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{4,48 + 3,25 + 4,08 + 4,02}{4} \\
&= \frac{15,83}{4} \\
&= 3,96\%
\end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned}
S(90\%) &= \left| \frac{50 - 46,14}{50 + 46,14} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{3,86}{96,14} \right| \times 100\% \\
&= 4,01\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(80\%) &= \left| \frac{52 - 49}{52 + 49} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{3}{101} \right| \times 100\% \\
&= 2,97\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(70\%) &= \left| \frac{54 - 50,14}{54 + 50,14} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{3,86}{104,14} \right| \times 100\% \\
&= 3,71\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S(60\%) &= \left| \frac{55,58 - 51,27}{55,58 + 51,27} \right| \times 100\% \\
&= \left| \frac{4,31}{106,85} \right| \times 100\% \\
&= 4,03\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\
&= \frac{4,01 + 2,97 + 3,71 + 4,03}{4} \\
&= \frac{14,72}{4} \\
&= 3,68\%
\end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned} S(90\%) &= \left| \frac{51 - 47,71}{51 + 47,71} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,29}{98,71} \right| \times 100\% \\ &= 3,33\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(80\%) &= \left| \frac{53,96 - 51,29}{53,96 + 51,29} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{2,67}{105,25} \right| \times 100\% \\ &= 2,54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(70\%) &= \left| \frac{56,13 - 52,93}{56,13 + 52,93} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,2}{109,06} \right| \times 100\% \\ &= 2,93\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(60\%) &= \left| \frac{57,71 - 54,09}{57,71 + 54,09} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{3,62}{111,8} \right| \times 100\% \\ &= 3,24\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{3,33 + 2,54 + 2,93 + 3,24}{4} \\ &= \frac{12,04}{4} \\ &= 3,01\% \end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{53 - 49,92}{53 + 49,92} \right| \times 100\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{56,54 - 54,54}{56,54 + 54,54} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,08}{102,92} \right| \times 100\%$$

$$= 2,99\%$$

$$= \left| \frac{2}{111,08} \right| \times 100\%$$

$$= 1,80\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{58,46 - 55,9}{58,46 + 55,9} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,56}{114,36} \right| \times 100\%$$

$$= 2,24\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{60,26 - 56,9}{60,26 + 56,9} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{3,36}{117,6} \right| \times 100\%$$

$$= 2,86\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{2,99 + 1,80 + 2,24 + 2,86}{4}$$

$$= \frac{9,89}{4}$$

$$= 2,47\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{54 - 52,36}{54 + 52,36} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,64}{106,36} \right| \times 100\%$$

$$= 1,54\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{58,46 - 55,93}{58,46 + 55,93} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,53}{114,39} \right| \times 100\%$$

$$= 2,21\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{60,54 - 57,9}{60,54 + 57,9} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{62,41 - 59,18}{62,41 + 59,18} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,64}{118,44} \right| \times 100\% = 2,23\%$$

$$= \left| \frac{3,23}{121,59} \right| \times 100\% = 2,66\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{1,54 + 2,21 + 2,23 + 2,66}{4}$$

$$= \frac{8,64}{4}$$

$$= 2,16\%$$

3. SSD 110:

a). Kedalaman 5 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{52 - 49,73}{52 + 49,73} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,27}{101,73} \right| \times 100\%$$

$$= 2,23\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{53,56 - 52,57}{53,56 + 52,57} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,99}{106,13} \right| \times 100\%$$

$$= 0,93\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{55,13 - 53,7}{52 + 47,92} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,43}{108,83} \right| \times 100\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{56,69 - 54,84}{56,69 + 54,84} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,85}{111,53} \right| \times 100\%$$

$$= 1,31\%$$

$$= 1,66\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{2,72 + 0,93 + 1,31 + 1,66}{4}$$

$$= \frac{6,62}{4}$$

$$= 1,66\%$$

b). Kedalaman 10 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{53,8 - 51,67}{53,8 + 51,67} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{2,13}{105,47} \right| \times 100\%$$

$$= 2,02\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{56,24 - 55,23}{56,24 + 55,23} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,01}{111,47} \right| \times 100\%$$

$$= 0,91\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{57,62 - 56,4}{57,62 + 56,4} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,22}{114,2} \right| \times 100\%$$

$$= 1,07\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{59 - 57,56}{59 + 57,56} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1,44}{116,56} \right| \times 100\%$$

$$= 1,24\%$$

$$\begin{aligned}\bar{s} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{2,02 + 0,91 + 1,07 + 1,24}{4} \\ &= \frac{5,24}{4} \\ &= 1,31\%\end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}S(90\%) &= \left| \frac{54,5 - 53,5}{54,5 + 53,5} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1}{108} \right| \times 100\% \\ &= 0,93\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(80\%) &= \left| \frac{58,13 - 57,38}{58,13 + 57,38} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{0,73}{115,51} \right| \times 100\% \\ &= 0,63\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(70\%) &= \left| \frac{59,74 - 58,67}{59,74 + 58,67} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,07}{118,41} \right| \times 100\% \\ &= 0,90\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S(60\%) &= \left| \frac{61,35 - 59,95}{61,35 + 59,95} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1,4}{121,3} \right| \times 100\% \\ &= 1,15\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{s} &= \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4} \\ &= \frac{0,93 + 0,63 + 0,90 + 1,15}{4}\end{aligned}$$

$$= \frac{3,61}{4}$$

$$= 0,90\%$$

d). Kedalaman 20 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{55,66 - 55,5}{55,66 + 55,5} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,16}{111,16} \right| \times 100\%$$

$$= 0,14\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{60,03 - 60,13}{60,03 + 60,13} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{-0,1}{120,16} \right| \times 100\%$$

$$= 0,08\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{61,76 - 61,41}{61,76 + 61,41} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,35}{123,17} \right| \times 100\%$$

$$= 0,28\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{63,48 - 62,69}{63,48 + 62,69} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,79}{126,17} \right| \times 100\%$$

$$= 0,63\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{0,14 + 0,08 + 0,28 + 0,63}{4}$$

$$= \frac{1,13}{4}$$

$$= 0,28\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$S(90\%) = \left| \frac{57,71 - 57,5}{57,71 + 57,5} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,21}{115,21} \right| \times 100\%$$

$$= 0,18\%$$

$$S(80\%) = \left| \frac{62,61 - 62,14}{62,61 + 62,14} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,47}{124,75} \right| \times 100\%$$

$$= 0,38\%$$

$$S(70\%) = \left| \frac{64,33 - 63,57}{64,33 + 63,57} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{0,76}{127,9} \right| \times 100\%$$

$$= 0,59\%$$

$$S(60\%) = \left| \frac{66 - 65}{66 + 65} \right| \times 100\%$$

$$= \left| \frac{1}{131} \right| \times 100\%$$

$$= 0,76\%$$

$$\bar{S} = \frac{S(90\%) + S(80\%) + S(70\%) + S(60\%)}{4}$$

$$= \frac{0,18 + 0,38 + 0,59 + 0,76}{4}$$

$$= \frac{1,91}{4}$$

$$= 0,48\%$$

PERHITUNGAN *FLATNESS PROFILE DOSE*

FlatnessProfileDose

- Berkas Sinar-X 6MV

1. SSD 90:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 81,18}{100 + 81,18} \times 100\% \\&= \frac{18,82}{181,18} \times 100\% \\&= 10,39 \%\end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 89,38}{100 + 89,38} \times 100\% \\&= \frac{10,62}{189,38} \times 100\% \\&= 5,61 \%\end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 93,2}{100 + 93,2} \times 100\% \\&= \frac{6,8}{193,2} \times 100\% \\&= 3,51\%\end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 93,6}{100 + 93,6} \times 100\% \\&= \frac{6,4}{193,6} \times 100\% \\&= 3,31\%\end{aligned}$$

e). Kedalaman 25 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 94,4}{100 + 94,4} \times 100\% \\
 &= \frac{5,6}{194,4} \times 100\% \\
 &= 2,88\%
 \end{aligned}$$

2. SSD 100:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 96,8}{100 + 96,8} \times 100\% \\
 &= \frac{3,2}{196,8} \times 100\% \\
 &= 1,63\%
 \end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 95,8}{100 + 95,8} \times 100\% \\
 &= \frac{4,2}{195,8} \times 100\% \\
 &= 2,15\%
 \end{aligned}$$

c). Kedalaman 15

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 95,4}{100 + 95,4} \times 100\%
 \end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 95,8}{100 + 95,8} \times 100\%
 \end{aligned}$$

$$= \frac{4,6}{195,4} \times 100\%$$

$$= 2,35\%$$

$$= \frac{4,2}{195,8} \times 100\%$$

$$= 2,15\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 95,8}{100 + 95,8} \times 100\%$$

$$= \frac{4,2}{195,8} \times 100\%$$

$$= 2,15\%$$

3. SSD 110:

a). Kedalaman 5 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 97,4}{100 + 97,4} \times 100\%$$

$$= \frac{2,6}{197,4} \times 100\%$$

$$= 1,32\%$$

b). Kedalaman 10 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 96,8}{100 + 96,8} \times 100\%$$

$$= \frac{3,2}{196,8} \times 100\%$$

$$= 1,63\%$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\% \\&= \frac{3,6}{196,4} \times 100\% \\&= 1,83\%\end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96}{100 + 96} \times 100\% \\&= \frac{4}{196} \times 100\% \\&= 2,04\%\end{aligned}$$

e). Kedalaman 25 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\% \\&= \frac{3,6}{196,4} \times 100\% \\&= 1,83\%\end{aligned}$$

- Berkas Sinar-X 10 MV

1. SSD 90:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 83,59}{100 + 83,59} \times 100\% \\
 &= \frac{16,41}{183,59} \times 100\% \\
 &= 8,94\%
 \end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 93}{100 + 93} \times 100\% \\
 &= \frac{7}{193} \times 100\% \\
 &= 3,63\%
 \end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 93,6}{100 + 93,6} \times 100\% \\
 &= \frac{6,4}{193,6} \times 100\% \\
 &= 3,31\%
 \end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\
 &= \frac{100 - 95}{100 + 95} \times 100\% \\
 &= \frac{5}{195} \times 100\% \\
 &= 2,56\%
 \end{aligned}$$

e). Kedalaman 25 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \\&= \frac{100 - 95,4}{100 + 95,4} \times 100\% \\&= \frac{4,6}{195,4} \\&= 2,35\%\end{aligned}$$

2.SSD 100:

a). Kedalaman 5 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,2}{100 + 96,2} \times 100\% \\&= \frac{3,8}{196,2} \times 100\% \\&= 1,94\%\end{aligned}$$

b). Kedalaman 10 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,5}{100 + 96,5} \times 100\% \\&= \frac{3,5}{196,5} \times 100\% \\&= 1,78\%\end{aligned}$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\%\end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \\&= \frac{100 - 95,8}{100 + 95,8} \times 100\%\end{aligned}$$

$$= \frac{3,6}{196,4} \times 100\%$$

$$= 1,83\%$$

$$= \frac{4,2}{195,8} \times 100\%$$

$$= 2,15\%$$

e). Kedalaman 25 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\%$$

$$= \frac{3,6}{196,4} \times 100\%$$

$$= 1,83\%$$

3. SSD 110:

a). Kedalaman 5 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 97,4}{100 + 97,4} \times 100\%$$

$$= \frac{2,6}{197,4} \times 100\%$$

$$= 1,38\%$$

b). Kedalaman 10 cm

$$f = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\%$$

$$= \frac{100 - 97}{100 + 97} \times 100\%$$

$$= \frac{3}{197} \times 100\%$$

$$= 1,52\%$$

c). Kedalaman 15 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\% \\&= \frac{3,6}{196,4} \times 100\% \\&= 1,83\%\end{aligned}$$

d). Kedalaman 20 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100\% \\&= \frac{100 - 96,8}{100 + 96,8} \times 100\% \\&= \frac{3,2}{196,8} \times 100\% \\&= 1,63\%\end{aligned}$$

e). Kedalaman 25 cm

$$\begin{aligned}f &= \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \\&= \frac{100 - 96,4}{100 + 96,4} \times 100\% \\&= \frac{3,6}{196,4} \times 100\% \\&= 1,83\%\end{aligned}$$

LAMPIRAN IV

FOTO ALAT DAN BAHAN

