



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DOSIMETRI SUMBER IRIDIUM-192 LDR BRAKITERAPI PADA  
MEDIUM AIR DAN UDARA MENGGUNAKAN FILM GAFCHROMIC  
EBT 2 DENGAN PROTOKOL (AAPM TG-43)**

**SKRIPSI**

**Rifki Andrian**

**030502078Y**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DOSIMETRI SUMBER IRIDIUM-192 LDR BRAKITERAPI PADA  
MEDIUM AIR DAN UDARA MENGGUNAKAN FILM GAFCHROMIC  
EBT 2 DENGAN PROTOKOL (AAPM TG-43)**

**SKRIPSI**

**Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Sains**

**Rifki Andrian**

**030502078Y**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI FISIKA  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

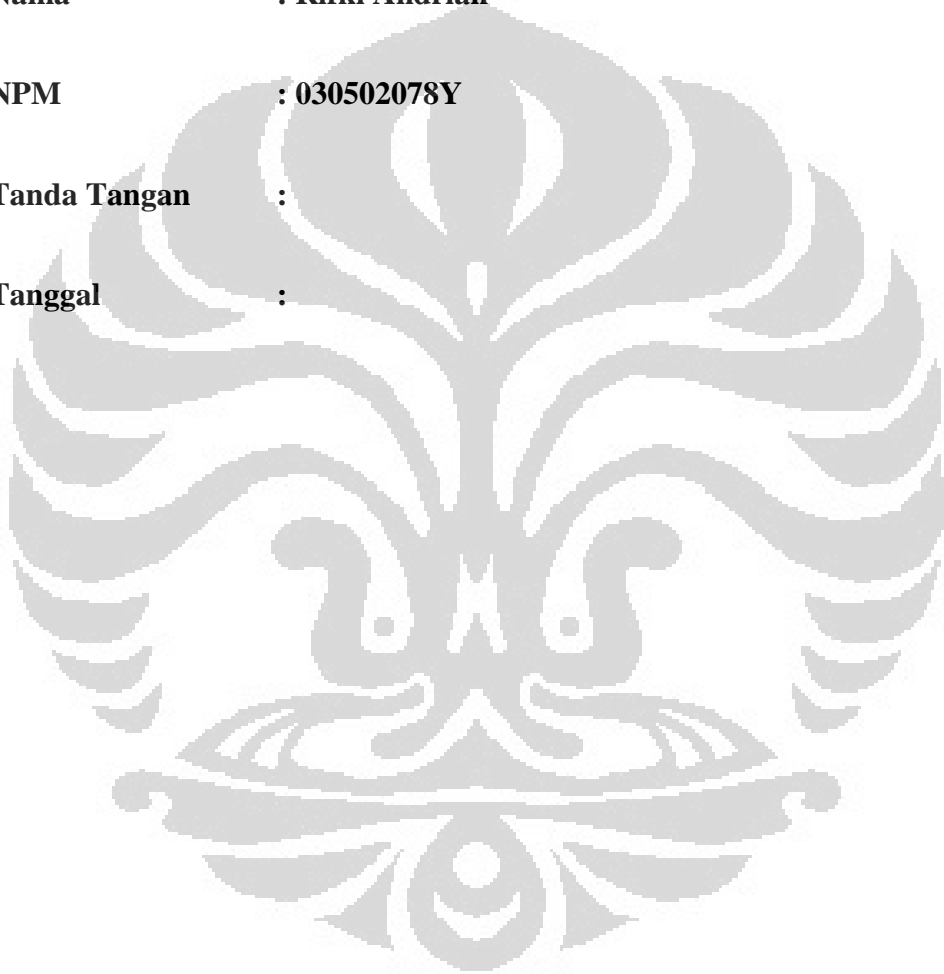
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan benar.

**Nama** : Rifki Andrian

**NPM** : 030502078Y

**Tanda Tangan** :

**Tanggal** :



## HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Rifki Andrian  
NPM : 030502078Y  
Program Studi : Fisika Medis  
Judul : Dosimetri Sumber Iridium-192 LDR Brakiterapi Pada  
Medium Air dan Udara Menggunakan Film Gafchromic  
EBT 2 Dengan Protokol AAPM TG-43

Pembimbing I : Dwi Seno Kuncoro, M.si  
Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.si

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno Kuncoro, M.si ( )

Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.si ( )

Penguji I : Dr Seruni U. Fresleben ( )

Penguji II : Kristina T. Wigati M.si ( )

Ditetapkan Di :

Tanggal :

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, segala puji bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulisan skripsi ini bisa terselesaikan. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Ibu tercinta yang selalu mendoakan anaknya, adik-adikku Aldi, Ody, dan Sarah yang suka iseng nggangguin kakaknya serta om dan tante semua yang selalu memberi motivasi untuk selalu berpikiran maju.
2. Bpk Heru Prasetio M.si dan Bpk Dwi Seno Kuncoro M.si Sebagai dosen Pembimbing skripsi.
3. Bpk Atang, Bpk Tri Harianto, Bpk Hambali, dan Bpk Muridin beserta seluruh staf pegawai BATAN Puspitek Serpong yang telah membantu dalam penelitian ini.
4. Ibu Dr. Seruni U. Fresleben dan Mba Kristina Wigati M.si sebagai dosen Penguji.
5. Prof. Dr Djarwani S. Soejoko Seagai ketua Peminatan fisika medis dan biofisika.
6. Mba Ratna, Pak Mardi, Teja, Mas Heri yang selalu membantu mahasiswa di sekretariat beserta Para Dosen Fisika FMIPA UI yang telah memberikan banyak ilmu bermanfaat.
7. Kelompok bimbingan Pak Heru yang sudah lulus duluan ( Hary, Koko, Fadli, Bondan, Margo, Ira, Icha, Lia, Samy dan Dika).
8. Fasilitas PTKMR BATAN Pasar Jumat dan Laboratorium PRR dan PRN BATAN Serpong yang memberikan izin dalam melakukan penelitian ini.
9. Almushfi S.si dan Mukhlisin S.si yang udah ngajarin penulis program MATLAB dan yang lainnya... thank you very much my friend.
10. Teman-teman fisika dari angkatan 2004 s.d 2008 khususnya fisika 2005.

11. Para Sensei, Sempai, Kenshi dan orang tua Keluarga besar Kempo dojo bulungan yang selalu semangat dalam latihan beserta seluruh Atlet kempo tim Pelatda PON 2012 DKI Jakarta dan tim Pelatnas Sea Games 2011... Semoga kita bisa menjadi Juara....
12. Semua pihak yang telah membantu yang tidak bisa penulis sebutkan di sini. Terima Kasih semuanya.

Dengan segala kerendahan hati, penulis masih menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dalam upaya perbaikan tugas akhir ini. Semoga skripsi ini dapat dikembangkan dan disempurnakan serta membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rifki Andrian  
NPM : 030502078Y  
Program Studi : S1 Fisika  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Alam

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Dosimetri Sumber Iridium-192 LDR Brakiterapi Pada Medium Air Dan Udara Menggunakan Film Gafchromic EBT 2 dengan Protokol AAPM TG-43

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan seagai pemilik hak cipta.

Dibuat di : .....

Pada tanggal : .....

Yang menyatakan

(Rifki Andrian)

## ABSTRAK

Nama : Rifki Andrian  
Program Studi : Fisika  
Judul : Dosimetri Sumber Iridium-192 LDR Brakiterapi  
Pada Medium  
Air dan Udara Menggunakan Film Gafchromic  
EBT 2 dengan Protokol AAPM TG-43

*Ir-192 adalah sumber radiasi brakiterapi yang sudah umum digunakan. Tujuan pembelajaran ini adalah untuk memperoleh gambaran fungsi dosimetri yang telah dijelaskan di AAPM TG-43 untuk karakteristik dosimetri sumber Ir-192 LDR yang digunakan dalam brakiterapi. Semua pengukuran diambil menggunakan film Gafchromic EBT 2 pada media udara dan air yang equivalent dengan fantom. Nilai derajat kehitaman akan dianalisa menggunakan corel draw software dengan mengubah chanel 3 warna (RGB) menjadi chanel 1 warna merah. Densitas optik yang berupa pixel value akan dikonversi menjadi dosis dengan data kalibrasi film. Pengukuran dosis pada sumbu radial dilakukan pada jarak 5mm sampai 50 mm dengan interval 5 mm dan pada sudut polar  $0^{\circ}$  sampai  $180^{\circ}$  interval  $10^{\circ}$ . Fungsi dosimetri didapat yang berupa fungsi dosis radial dan anisotropi distribusi dosis akan dibandingkan dengan apa yang telah menjadi kesepakatan dengan kalkulasi Monte Carlo. Pembelajaran ini menegaskan kemungkinan karakteristik dosimetri film Gafchromic EBT 2 pada parameter TG-43 untuk sumber Ir-192 LDR.*

*Kata kunci : Brakiterapi ; Dosimeter Radiasi; Film Gafchromic; TG-43*

## ABSTRACT

Nama : Rifki Andrian  
Program Studi : Physics  
Judul : Dosimetry of Iridium-192 LDR Brachytherapy  
Source in Air and Water Medium using  
Gafchromic Film EBT 2 with AAPM TG-43  
Protocol

*Ir-192 source is widely used in high dose rate brachytherapy. The aim of this study was to derive the brachytherapy dosimetric functions described in AAPM TG-43 to characterize the dosimetry Ir-192-LDR Source. All the measurements were carried out with Gafchromic EBT 2 film in air and water equivalent solid phantom. The grey values were analyze by using corel draw software with changed (RGB) chanel to only a red chanel. Optical density such as pixel value was converted to dose using calibration film. Measurements were carried out by measuring the dose at radial distances from 5 mm to 50 mm with interval of 5 mm and at polar angle  $0^{\circ}$ – $180^{\circ}$  in  $10^{\circ}$  intervals. Dosimetric functions such as radial dose functions and anisotropy of the dose distribution were found to be in good agreement with Monte Carlo calculations. This study confirms the feasibility of radiochromic EBT 2 film dosimetry in characterization of the TG-43 parameters for Ir-192 LDR source.*

*Kata kunci : Brachytherapy ; Radiation dosimetry; Radiochromic film; TG-43*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Pendahuluan Brakiterapi.....	4
2.2 Sumber radionuklida tertutup.....	4
2.3 Dosimeter radiasi.....	6
2.4 Dosis serap.....	7
2.5 Kerma.....	8
2.6 Film Gafchromic EBT 2.....	8
2.7 Dosimetri Sumber Brakiterapi.....	9
2.8 Dosimetri Brakiterapi dengan AAPM-TG 43.....	12
2.8.1 Konstanta laju Dosis.....	13
2.8.2 Fungsi Geometri.....	14
2.8.3 Fungsi Dosis Radial.....	15
2.8.4 Fungsi Anisotropi.....	15
2.9 Kurva Distribusi Dosis.....	15

<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Peralatan.....	17
3.2 Prosedur Pengambilan Data.....	19
3.2.1 Set Up Posisi Sumber Terhadap Film.....	19
3.2.2 Media Air dan Udara.....	20
3.2.3 Lama Waktu Meradiasi Film.....	21
3.3 Pengolahan Data.....	21
3.3.1 Film Digital dengan Mode RGB.....	22
3.3.2 Konversi Pixel Value dan Dosis.....	23
3.3.3 Pendekatan nilai dengan interpolasi dan smoothing.....	24
3.3.4 Perhitungan Parameter Faktor Koreksi AAPM TG-43.....	26
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Kurva isodosis.....	30
4.2 Berkas distribusi dosis sumber pada sumbu horizontal dan vertical.....	31
4.3 Pengaruh geometri sumber terhadap hamburan berkas.....	34
4.4 Perhitungan Fungsi Dosis Radial.....	36
4.5 Perhitungan fungsi Anisotropi.....	41
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>44</b>
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran.....	45
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>46</b>
<b>LAMPIRAN 1</b>	
Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Horizontal dan Vertikal Sumber di Tengah Film.....	48
<b>LAMPIRAN 2</b>	
Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Horizontal dan Vertikal Sumber di samping Film.....	61
<b>LAMPIRAN 3</b>	
Perbandingan Nilai Dosis Pada medium air dan udara ( $r,0^0-180^0$ ).....	74
<b>LAMPIRAN 4</b>	
Perbandingan Nilai Fungsi Anisotropi ( $r,\theta$ ).....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sumber Ir-192 LDR buatan PRR Batan Serpong.....	6
Gambar 2.2 Proses transfer energi dari photon ke medium.....	8
Gambar 2.3 Lapisan penyusun film Gafchromic EBT 2.....	10
Gambar 2.4 Skema dosimetri sumber brakiterapi metode sievert.....	11
Gambar 2.5 Skema dosimetri sumber brakiterapi metode AAPM TG-43.....	13
Gambar 2.6 Skema perhitungan nilai $\beta$ dalam faktor geometri.....	14
Gambar 2.7 (a) Kurva isidosis sumber berbentuk point & (b) Kurva distribusi dosis sumber berbentuk garis.....	16
Gambar 3.1 Film Gafchromic dengan marker.....	17
Gambar 3.2 (a) Penyangga posisi film di udara tanpa film & (b) Penyangga posisi film di udara dengan film.....	18
Gambar 3.3 Scanner Microtek 1000 xl high resolution.....	18
Gambar 3.4 (a) skema posisi sumber di tengah film & (b) skema posisi sumber disamping film.....	20
Gambar 3.5 Skema proses radiasi film pada media udara dan air.....	20
Gambar 3.6 Skema alur pengolahan data film.....	22
Gambar 3.7 Pengubahan Chanel 3 warna RGB menjadi 1 chanel merah.....	22
Gambar 3.8 Bacaan jangkauan distribusi dosis dengan software film QA.....	22
Gambar 3.9 Skema konversi Optical density ke dalam Pixel Value.....	23
Gambar 3.10 Kurva data kalibrasi film.....	24
Gambar 3.11 Contoh kurva Smoothing data dengan metode simple moving average.....	25
Gambar 3.12 Skema koordinat kartesian pada kurva isodose.....	27
Gambar 3.13 (a) Skema fungsi Geometri sumber point & (b) Skema fungsi Geometri sumber garis.....	27
Gambar 3.14 Skema perhitungan efek hamburan pada sumbu radial $g(r,90)$ .....	28
Gambar 3.15 Skema perhitungan efek hamburan di sekitar sumber $F(r,\theta)$ .....	29

Gambar 4.1 Kurva isodosis sumber pada posisi di tengah film (a) media udara & (b) media air.....	30
Gambar 4.2 Kurva isodosis sumber pada posisi di samping film (a) media udara & (b) media air .....	31
Gambar 4.3 Kurva distribusi dosis pada sumbu horizontal untuk sumber di tengah film.....	32
Gambar 4.4 Kurva distribusi dosis pada sumbu vertikal untuk sumber di tengah film.....	32
Gambar 4.5 Kurva distribusi dosis pada sumbu horizontal sumber di samping film.....	33
Gambar 4.6 Kurva distribusi dosis pada sumbu vertikal untuk sumber di samping film.....	34
Gambar 4.7 Dimensi Sumber Ir-192 LDR dengan perspektif samping dan depan.....	35
Gambar 4.8 (a) kurva hubungan $G(r,90)$ terhadap jarak (b) kurva hubungan sudut $\beta$ terhadap jarak.....	36
Gambar 4.9 Kurva $D(r,90)/D(1,90)$ dan $G(1,90)/G(r,90)$ terhadap jarak pada medium udara (a) Sumber di tengah film (b) sumber di samping film.....	37
Gambar 4.10 Kurva fungsi dosis radial pada medium air dan udara sumber di tengah film.....	38
Gambar 4.11 Kurva fungsi dosis radial pada medium air dan udara sumber di samping film.....	39
Gambar 4.12 Skema pengaruh geometri sumber di tengah film dan di samping film.....	39
Gambar 4.13 fungsi anisotropi sumber di tengah film pada media air dan udara pada jarak 1cm, 2cm, 3 cm dan 4 cm.....	41
Gambar 4.14 fungsi anisotropi sumber di samping film pada media air dan udara pada jarak 1cm, 2cm, 3 cm dan 4 cm.....	42

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sumber radioaktif tertutup yang sering digunakan dalam brakiterapi.....	5
Tabel 2.2 Jenis- jenis detektor radiasi.....	7
Tabel 2.3 Komposisi dari film Gafchromic EBT 2.....	9
Tabel 3.1 Contoh data yang dismoothering dengan metode simple moving average.....	26
Tabel 4.1 Fungsi geometri $G(r,90)$ pada jarak 0 s.d 44 mm.....	36
Tabel 4.2 fungsi dosis radial sumber di tengah film .....	40
Tabel 4.3 fungsi dosis radial sumber di samping film.....	40

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Penggunaan radiasi pengion dan radionuklida dalam pengobatan kanker bukanlah hal yang baru lagi bagi masyarakat. Pengobatan ini dikenal dengan istilah radioterapi. Terdapat dua metode radioterapi yaitu, dengan menggunakan sumber radionuklida tertutup pada jarak tertentu seperti pesawat linac dan Co-60 yang dikenal dengan teleterapi. Sedangkan pengobatan dengan menggunakan sumber radionuklida tertutup pada jarak dekat, yang dikenal dengan brakiterapi<sup>[1]</sup>.

Pada awal penggunaan brakiterapi, sumber radionuklida yang digunakan hanya Radium sehingga pada saat itu brakiterapi disebut sebagai Radium terapi. Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, saat ini banyak sumber radionuklida lain buatan yang digunakan dalam brakiterapi seperti Cs-137, Au-182, I-125, Co-60 dan Ir-192<sup>[2]</sup>. Adanya sumber radionuklida buatan ini yang bersifat praktis dan ekonomis membuat penggunaan radium yang berasal langsung dari alam kian ditinggalkan. Walau demikian, radium tetap digunakan sebagai acuan dosimetri terutama dalam konversi laju dosis.

Berdasarkan laju dosis yang dikeluarkan, sumber radionuklida dibedakan menjadi Low Dose Rate (LDR) berkisar 0.4-2Gy/jam, Medium Dose Rate (MDR) berkisar antara 2-12 Gy/jam dan High Dose Rate (HDR) antara 12-150 Gy/jam<sup>[3]</sup>. Pembuatan Sumber radionuklida Ir-192 LDR oleh Pusat Radionuklida dan Radiofarmaka BATAN Serpong merupakan salah satu solusi agar pengobatan tumor dengan brakiterapi bisa lebih murah dan praktis. Walau tujuan dari pembuatan sumber tersebut atas dasar alasan ekonomis, tetap diperlukan suatu verifikasi/karakterisasi dosimetri sumber tersebut sebelum digunakan secara massal.

Dosimetri radionuklida yang digunakan dalam brakiterapi menjadi hal yang sangat esensial, sesuai dengan prinsip pengobatan radioterapi dimana memberikan dosis maksimal pada tumor target dan dosis minimum pada jaringan sekitar. Sering terjadinya kerusakan berlebih pada jaringan sekitar tumor target pada pengobatan brakiterapi terhadap pasien membuat penelitian tentang

dosimetri sumber terus dikembangkan. Untuk mendapatkan hasil dosimetri yang tepat, diperlukan suatu dosimeter yang baik pula seperti film Gafchromic EBT 2.

Dosimeter film Gafchromic EBT 2 adalah film *radiochromic* yang digunakan dalam radioterapi yang memiliki kelebihan dapat digunakan pada daerah gradient dosis tinggi untuk dosimetri, bersifat *self-developed*, dan respon dari film gafchromic tidak dipengaruhi oleh energy karena memiliki range energy berorde keV s.d MeV<sup>[4]</sup>. Film gafchromic EBT 2 memiliki elektrondensitas 6,98 yang mendekati nilai elektrondensitas air yaitu 7,3 sehingga semakin mendekati persentase materi terbesar didalam tubuh pasien.

Untuk penentuan data dosimetri suatu sumber radionuklida maka diperlukan suatu parameter standar sebagai acuan faktor koreksi yang akan digunakan dalam perhitungan. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada parameter yang digunakan oleh American Association of Physicist Medicine Task Group No.43 (AAPM TG-43) yaitu air kerma strength, laju dosis konstan, fungsi geometri, fungsi dosis radial dan fungsi anisotropi. Fungsi geometri digunakan sebagai parameter faktor koreksi secara teori, sedangkan fungsi dosis radial dan fungsi anisotropi sebagai parameter faktor koreksi secara eksperimen<sup>[5]</sup>.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- Mengetahui perbedaan persentase distribusi dosis sumber radionuklida brakiterapi Ir-192 LDR berbentuk garis buatan PRR BATAN Serpong pada media air dan udara dengan dosimeter film gafchromic EBT 2 pada posisi sumber ditengah film dan disamping film.
- Mengetahui pengaruh medium air dan udara terhadap faktor koreksi eksperimen fungsi dosis radial dan fungsi anisotropi sumber Ir-192 LDR.

## 1.3 Batasan Masalah Penelitian

Penelitian ini dibatasi oleh penentuan persentase distribusi dosis yang didapatkan dari kurva isodose hasil penyinaran pada film gafchromic EBT 2 dan penggunaan parameter AAPM TG-43 sebagai faktor koreksi untuk mendapatkan

hubungan fungsi geometri , fungsi dosis radial, dan fungsi anisotropi sumber Ir-192 LDR yang digunakan pada penelitian ini.

#### **1.4 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan penelitian ini terdiri dari lima bab pembahasan yang menjelaskan urutan penelitian ini dari awal hingga hasil yang didapat, adapun kelima bab tersebut terdiri dari :

1. Bab 1 Pendahuluan

Menjelaskan latar belakang penelitian , tujuan penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan prinsip dasar dari brakiterapi, proses interaksi radiasi dengan materi, parameter dosimetri AAPM TG-43, dan dosimeter film Gafchromic tipe EBT 2.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Menjelaskan prosedur pengambilan dan pengolahan data dari penelitian ini beserta alat dan bahan yang digunakan.

4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan hasil dan pembahasan dari data pada penelitian ini.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan kesimpulan dan saran-saran dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan Brakiterapi

Brakiterapi adalah bagian dari radioterapi yaitu pengobatan terapi yang menggunakan sumber radioaktif. Brakiterapi sendiri berasal dari kata braki (bahasa latin) yang berarti dekat, saat ini brakiterapi didefinisikan sebagai terapi jarak dekat yang menggunakan sumber radioaktif terbungkus dalam kapsul. Jarak yang sangat dekat antara sumber dan target dalam pengobatan brakiterapi mengakibatkan diperlukan metode dosimetri khusus untuk memperhitungkan berbagai macam efek yang timbul sehingga hasil pengobatan brakiterapi menjadi optimum.

Pemilihan jenis brakiterapi merupakan hal yang esensial untuk tercapainya keberhasilan pengobatan brakiterapi. Jenis brakiterapi dibedakan berdasarkan laju dosis sumber radioaktif yang digunakan yaitu, *Low Dose Rate* (LDR) berkisar 0.4-2Gy/jam, *Medium Dose Rate* (MDR) berkisar antara 2-12 Gy/jam dan *High Dose Rate* (HDR) antara 12-150 Gy/jam. Ketiga jenis brakiterapi tersebut akan berpengaruh terhadap pelaksanaan brakiterapi di lapangan.

Saat ini dikenal 2 cara pelaksanaan brakiterapi yaitu *Manual After Loading* (MAL) dan *Remote After Loading* (RAL). Pada pelaksanaan brakiterapi jenis LDR bisa digunakan cara MAL dengan pertimbangan paparan radiasi atau dosis yang diterima pekerja relatif kecil karena sumber yang digunakan juga memiliki laju dosis yang kecil, sedangkan pada jenis brakiterapi HDR dan MDR penggunaan MAL tidak diperbolehkan karena paparan radiasi atau dosis yang diterima pekerja juga besar.

#### 2.2 Sumber Radionuklida Tertutup

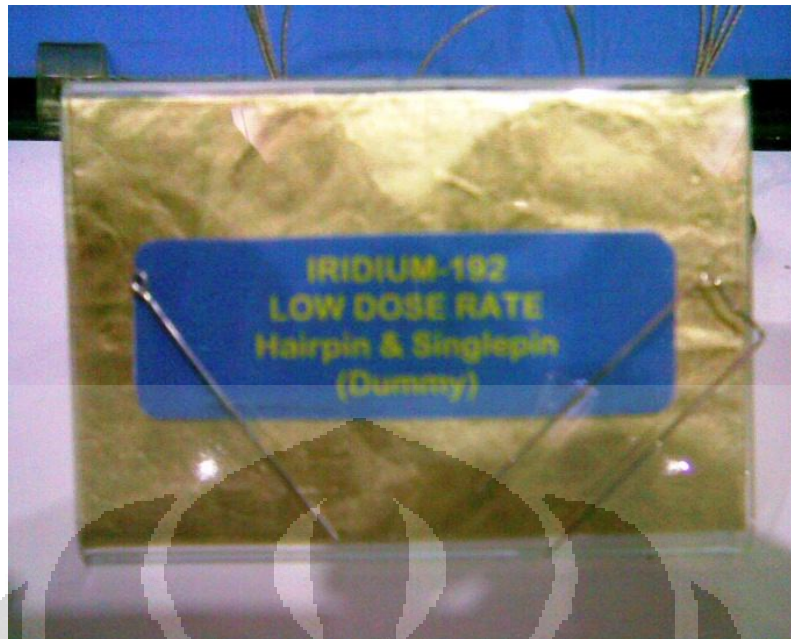
Sumber radionuklida tertutup adalah unsur radioaktif yang tertutup oleh bahan yang terbuat dari logam anti karat seperti stainless steel. Fungsi kapsul sendiri adalah untuk menyerap partikel beta yang keluar dari sumber radioaktif selain itu juga untuk menghindari sumber dari sumber dari pengaruh lingkungan.

Beberapa contoh sumber radioaktif tertutup yang dipakai dalam brakiterapi dapat dilihat dalam tabel 2.1

**Tabel 2.1 Sumber radioaktif tertutup yang sering digunakan dalam brakiterapi**

Radionuklida	$T^{1/2}$	Tipe	Ukuran (mm)
C0-60	5,27 th	Pellet/ HDR	2,5 (diameter)
Cs-137	30 th	Needle/ Implant	15 – 45 (panjang aktif)
		Tube	13,5 ( panjang aktif )
		Miniatur Cylinder	3,3 ( panjang aktif )
		Pellet/ LDR or MDR	2,5 ( diameter )
Ir-192	74 hr	Wire	0,3 ( diameter )
			500 ( panjang )
		Hairpin	0.6 ( diameter )
			60 ( panjang aktif )
		Miniatur Cylinder	3 ( panjang aktif )
I-125	60 hr	Seed	3 ( panjang aktif )

Sumber radionuklida yang digunakan dalam penelitian ini adalah sumber Ir-192 LDR bentuk garis buatan Pusat Radionuklida dan Radiofarmaka (PRR) BATAN Serpong. Sumber tersebut memiliki panjang aktif 1 cm dengan diameter 0.85 mm yang dibungkus oleh Steel AISI 316 yang memiliki keunggulan dengan sifat *high resistant korotion* namun lunak. Keunggulan yang dimiliki oleh logam tersebut menjadikannya material yang paling sering digunakan sebagai kapsul pembungkus oleh pabrik atau industri penghasil sumber radioaktif brakiterapi.



**Gambar 2.1 sumber Ir-192 LDR buatan PRR Batan Serpong**

### **2.3 Dosimeter Radiasi**

Sumber radioaktif yang digunakan dalam brakiterapi tidak hanya memancarkan sinar gamma melainkan juga memancarkan sinar alfa dan sinar beta yang mempunyai tingkat radiasi pengion tinggi yang berbahaya pada tubuh pasien. Penggunaan kapsul adalah salah satu upaya untuk memfilter agar sinar gamma saja yang dipancarkan dari sumber.

Radiasi yang dipancarkan dari sumber radioaktif dapat diukur dengan bantuan alat dosimeter. Pengukuran dosis radiasi sumber radionuklida bisa dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung biasanya untuk mendapatkan data nilai aktifitas suatu sumber radiasi pada saat akan dilakukan penelitian dengan menggunakan detektor yang bekerja melalui proses fisika seperti ionization chamber. Pengukuran secara tidak langsung biasanya untuk mendapatkan suatu nilai dosis atau laju dosis pada jarak tertentu yang bersifat data relatif maupun absolut dengan menggunakan dosimeter film. Perbedaan mendasar antara pengukuran langsung dan tidak langsung hanya terdiri dari data yang didapat. Data dari pengukuran langsung berdasarkan angka yang didapat dari detector, sedangkan pengukuran tidak langsung harus melalui pengolahan dan konversi data terlebih dahulu.

**Tabel 2. 2 Jenis- jenis detektor radiasi<sup>[6]</sup>**

Efek	Jenis Alat	Detektor
Listrik	1. Ionization Chamber	1. Gas
	2. Proportional Counter	2. Gas
	3. Geiger Counter	3. Gas
	4. Solid State	4. Semiconductor
Kimia	1. Film	1. Photographic Emulsion
	2. Chemical Dosimeter	2. Solid, liquid
Cahaya	1. Scintillation Counter	1. Crystal, liquid
	2. Cerenkov Counter	2. Crystal, liquid
Thermoluminescence	Thermoluminescence dosimeter	Crystal
Heat	Calorimeter	Solid , liquid

Pada penelitian kali ini data yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil dari tujuan penelitian adalah dosis, sehingga digunakan dosimeter film. Film yang digunakan adalah film Gafchromic EBT 2.

#### 2.4 Dosis Serap

Dosis serap adalah banyaknya energi yang diserap oleh medium per satuan massa medium akibat interaksi radiasi. Dosis serap dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$K = \frac{dE}{dm} \text{ (J/kg atau Gy)} \quad (2.1)$$

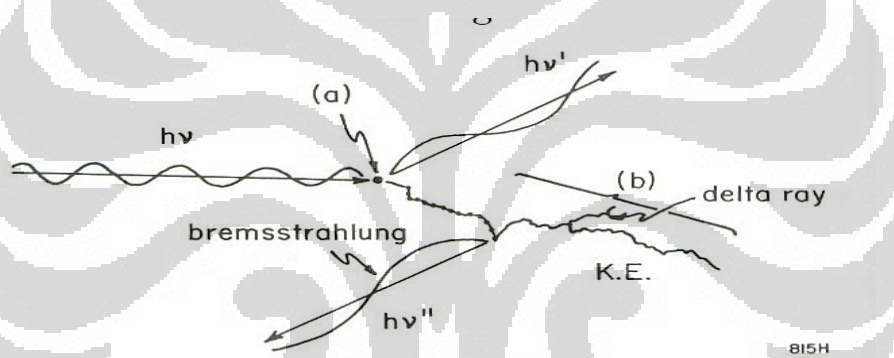
Dengan dE adalah energi yang diserap oleh medium bermassa dm. Dimensi dan satuan pada dosis serap sama seperti yang digunakan untuk kerma. Dalam sistem SI besaran dosis serap diberi satuan khusus yaitu Gray (Gy). Sebelum satuan SI digunakan pula satuan erg/ gram atau rad ( *radiation absorbed dose* ) dimana 1 rad setara dengan 100 erg/gr.

## 2.5 Kerma

Kerma (*Kinetic Energy Released in Matter*) adalah sejumlah energi yang dipindahkan dari foton ke medium sebagai energi kinetik partikel bermuatan. Kerma juga merupakan bagian dari besaran makroskopis dosimetri. Secara matematis Kerma dituliskan pada persamaan berikut:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad [\text{Joule/kg atau Gray}] \quad (2.2)$$

Dengan  $dE_{tr}$  adalah energi kinetik yang dipindahkan dari foton ke elektron dalam satuan joule yang memiliki massa kg, menurut Frank Herbert Attix Persamaan tersebut menggambarkan nilai ekspektasi energi yang ditransfer ke partikel bermuatan tiap satuan massa titik.



Gambar 2.2 Proses transfer energi dari photon ke medium<sup>[7]</sup>

Pada suatu eksperimen kerma sendiri tidak bisa diukur secara langsung, akan tetapi menjadi satuan teori pada eksperimen. Kerma tidak bisa dianggap tidak ada atau diabaikan dalam suatu eksperimen karena dia mempunyai suatu nilai.

## 2.6 Film Gafchromic EBT 2

Penggunaan film sebagai dosimeter radiasi adalah dikarenakan kemampuannya berpondasi pada range energy yang cukup besar dan hasil penyinarannya bersifat statis, sehingga dari hasil penyinaran film bisa dilihat distribusi dosis suatu sumber.

Film Gafchromic EBT 2 adalah dosimeter film jenis terbaru yang digunakan dalam radioterapi. Film tersebut memiliki keunggulan dibanding film gafchromic pendahulunya. Keunggulan utama dari film tersebut adalah bersifat *self-developed* dimana tidak diperlukan lagi proses pencucian film diruang gelap untuk mendapatkan hasil penyinaran pada film. Karakteristik yang dimiliki oleh film gafchromic EBT 2 diantaranya memiliki sensitifitas pada rentang dosis dari 1 cGy sampai dengan 1000 cGy, rentang respon energy pada skala keV s.d Mev, memiliki serapan maksimum pada panjang gelombang sekitar 585 nm dan 636 nm mirip dengan spektrum warna merah, memiliki waktu tempat penyinaran (*post-irradiation*) yang lebih cepat dan dapat bekerja pada temperature yang cukup tinggi<sup>[8]</sup>.

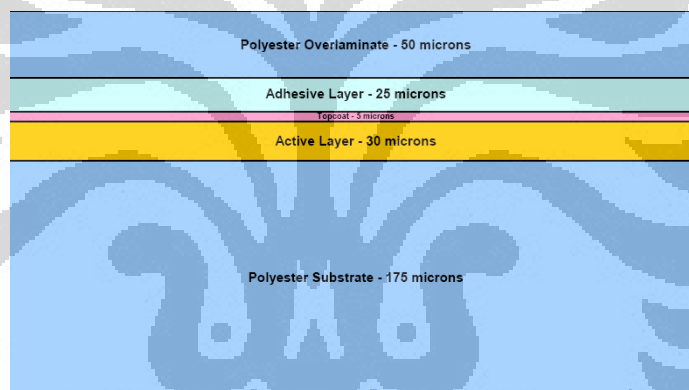
Film gafchromic tipe sebelumnya seperti MD-55 dan HD 810 hanya terdiri dari elemen-elemen Z : C, H, N dan O saja. Film gafchromic tipe MD-55 dan HD 810 hanya memiliki respon energi foton yang rendah saja, yaitu pada energi kisaran keV. Dengan melihat tabel 2.3, terdapat elemen *chlorine* (Cl) didalam komposisi atom film gafchromic tipe EBT 2. Elemen *chlorine* ini diketahui dapat menyebabkan perubahan serapan energi rendah kisaran keV, sehingga film gafchromic tipe EBT2 tidak hanya dhususkan pada respon sumber energi yang memiliki rentang energi yang tinggi (MeV) saja.

**Tabel 2. 3 Komposisi dari film Gafchromic EBT 2.**

Layer	Thickness (microns)	Aproximate density g/cm <sup>2</sup>	Composition Atom (%)									
			H	Li	C	N	O	Na	S	Cl	K	Br
Polyster film base	50	1.35	38.4	0	45.5	0	18.2	0	0	0	0	0
Adhesive Surface layer	25	1.2	57.1	0	33.3	0	9.5	0	0	0	0	0
Active Layer	5	1.2	58.9	0.9	25.7	0	15.6	0	0	0.9	0	0
Polyster film base	30	1.2	58.3	0.8	29.6	0.1	10.7	0	0	0.3	0.1	0.1
Overall Composition	175	1.35	38.4	0	45.5	0	18.2	0	0	0	0	0
			40.85	0.01	42.37	0.01	16.6	0	0	0.04	0.01	0.01

Struktur bahan film gafchromic tipe EBT 2 terdiri dari *polyester overlamine* yang memiliki ketebalan 50  $\mu\text{m}$ . Kemudian bagian struktur yang lain adalah *Polyester substrate* yang memiliki tebal 175  $\mu\text{m}$  yang melapisi *active layer* dengan ketebalan 30  $\mu\text{m}$  dan lapisan pelindung *top coat* dengan ketebalan 5  $\mu\text{m}$ . Selain itu terdapat bahan *Adhesive layer* sebagai perekat untuk melindungi dari air dengan ketebalan 25  $\mu\text{m}$ .

Lapisan terluar dari film Gafchromic adalah poliester (gambar 2.6). Poliester adalah suatu kategori polimer yang mengandung gugus fungsional ester ikatan rangkap karbon ( $\text{RCOOR}'$ ) dalam rantai utamanya. Walau mudah terbakar di suhu tinggi, poliester cenderung berkerut menjauhi api dan memadamkan diri sendiri saat terjadi pembakaran. Serat poliester mempunyai kekuatan yang tinggi dan serta penyerapan air yang rendah, sehingga film gafchromic dapat digunakan di dalam air.



**Gambar 2.3** Lapisan penyusun film Gafchromic EBT 2

## 2.7 Dosimetri Sumber Brakhiterapi

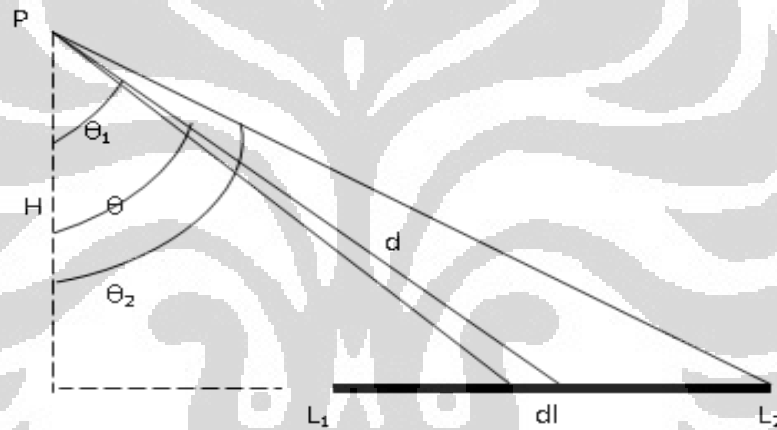
Pengukuran dosis radiasi sumber brakiterapi dimulai dengan perhitungan laju dosis secara konvensional. Pada mulanya perhitungan tersebut hanya berlaku untuk sumber titik. Laju paparan pada jarak  $d$  untuk sumber titik ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\frac{dX}{dt} = \dot{X} = \frac{AI}{d^2} \quad (2.3)$$

dimana  $A$  merupakan aktivitas sumber dalam  $Ci$ ,  $\Gamma$  adalah konstanta laju paparan ( $R.h^{-1}Ci^{-1}m^2$ ) dan  $d$  jarak dari sumber terhadap titik tertentu.

Persamaan diatas merupakan dasar dosimetri brakhiterapi. Pada perlakuannya banyak sumber brakiterapi yang berbentuk garis, sehingga disusunlah perumusan laju paparan untuk sumber garis. Perumusan ini merupakan asumsi bahwa sumber garis tersusun dari banyak sumber titik. Jika sumber memiliki aktivitas total  $A$  dengan panjang  $L$ , maka aktivitas linier  $A'$  diberikan oleh  $A = A' \times L$ . Jika sebuah elemen sumber dengan panjang  $dl$ , maka laju paparan di titik  $P$  karena elemen  $dl$  diberikan oleh :

$$d \dot{X}_p = \frac{A' \Gamma dl}{d^2} \quad (2.4)$$



Gambar 2.4 Skema dosimetri geometri sumber brakiterapi metode sievert

Kemudian dengan mengintegrasikan untuk seluruh panjang sumber dari  $L_1$  ke  $L_2$  sesuai pada gambar 2.4, maka laju paparan di titik  $P$  untuk seluruh panjang sumber diberikan dengan perumusan :

$$\dot{X} = \int_{L_1}^{L_2} A' \Gamma \frac{dl}{d^2} \quad (2.5)$$

Karena  $d = H \sec \theta$  dan  $L = H \tan \theta$  maka :  $dl = H \sec^2 \theta d\theta$ . Dengan substitusi untuk  $d$ ,  $L$  dan  $dl$  pada persamaan (2.5) maka diperoleh :



$$\dot{X} = A \cdot T \int_{\theta_1}^{\theta_2} \frac{d\theta}{H} \text{ Sehingga } \dot{X} = A \cdot T \left[ \frac{\theta_2 - \theta_1}{L} \right] H \quad (2.6)$$

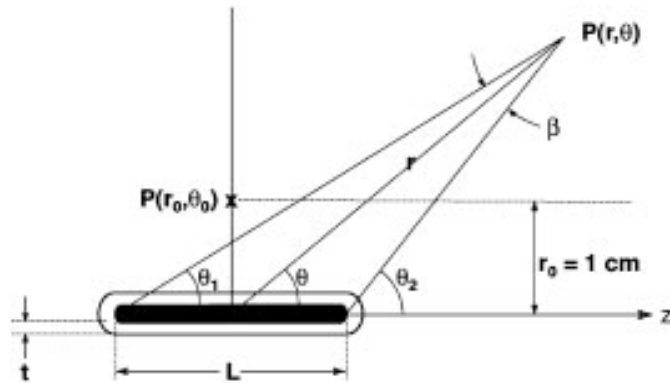
H adalah jarak tegak lurus dari titik P ke sumber garis dengan satuan cm dan teta merupakan sudut dalam radian antara garis tegak lurus yang menghubungkan titik P dengan sumber dan garis yang menghubungkan P dengan elemen sumber, dl.

Terlihat bahwa data input sumber brakhiterapi sangat bergantung pada konstanta laju paparan. Sementara itu, aplikasi klinis membutuhkan data input distribusi dosis pada medium yang dapat diterapkan pada tubuh pasien. Sedangkan untuk sumber brakhiterapi sesungguhnya harus mempertimbangkan masalah geometri, koreksi radial, dan anisotropi. Semua pertimbangan tersebut diperkenalkan melalui protocol kerja AAPM TG-43.

## 2.8 Dosimetri Brakiterapi Dengan AAPM TG-43

Perkembangan brakiterapi yang pesat di dunia klinis, membuat perhitungan yang digunakan melibatkan banyak variasi karakterisasi dosimetri. Sebagai contoh, pada tahun 1975, Hilaris et al. mengukur konstanta laju dosis  $^{125}\text{I}$ , model 6701 yang memiliki nilai  $1.68 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2/\text{m}\cdot\text{Ci}\cdot\text{hr}$ , tetapi ditahun yang sama Anderson et al menemukan laju dosis konstan  $1.03 \text{ cGy}\cdot\text{cm}^2/\text{m}\cdot\text{Ci}\cdot\text{hr}$  untuk  $^{125}\text{I}$ , model 6701, menggunakan pendekatan sumber titik. Hasil ini jelas menunjukkan adanya banyak perbedaan konstanta laju dosis pada untuk sumber yang sama<sup>[9]</sup>. Perbedaan ini telah menghubungkan kepada perbedaan material fantom, dosimeter, seperti teknik dosimetri.

Pada tahun 1995, AAPM TG-43 telah memperkenalkan protokol kerja yang bisa meminimalisasi besarnya perbedaan informasi dosimetri yang juga telah ditentukan oleh para peneliti di seluruh dunia. Karakteristik dosimetri yang direkomendasikan untuk digunakan adalah konstanta laju dosis, fungsi dosis radial, fungsi anisotropi dan factor anisotropi. Karakterisasi dosimetri ini telah diperkuat menggunakan percobaan langsung dan teknik simulasi monte carlo. Protokol ini telah diperkenalkan sebagai teknik dosimetri universal untuk sumber brakiterapi.



Gambar 2.5 Skema dosimetri sumber brakiterapi metode AAPM TG-43

Karakteristik sumber brakiterapi telah ditentukan dengan menggunakan kedua cara, Eksperiment dan metode teori yang mengikuti rekomendasi AAPM yang telah dipublikasi dalam TG-43 report (Nath et al. 1995). Mengikuti protokol ini, distribusi dosis disekitar penutup/seal sumber barkiterapi bisa ditentukan menggunakan persamaan.

$$D(r, \theta) = Sk \cdot \Lambda \cdot \left( \frac{G(r, \theta)}{G(1, \pi/2)} \right) \cdot g(r) F(r, \theta) \quad (2.7)$$

Dimana:

$\Lambda$  = konstanta laju dosis,

$G(r, \theta)$  = fungsi geometry

$g(r)$  = fungsi dosis radial

$F(r, \theta)$  = Fungsi anisotropi

### 2.8.1 Konstanta Laju Dosis

Konstanta laju dosis didefinisikan sebagai laju dosis di air pada jarak 1 cm dari sumbu tegak per satuan kuat kerma di udara. Konstanta laju dosis ditunjukkan pada persamaan:

$$\Lambda = \frac{D(1, \pi/2)}{Sk} \quad (2.8)$$

### 2.8.2 Fungsi Geometri

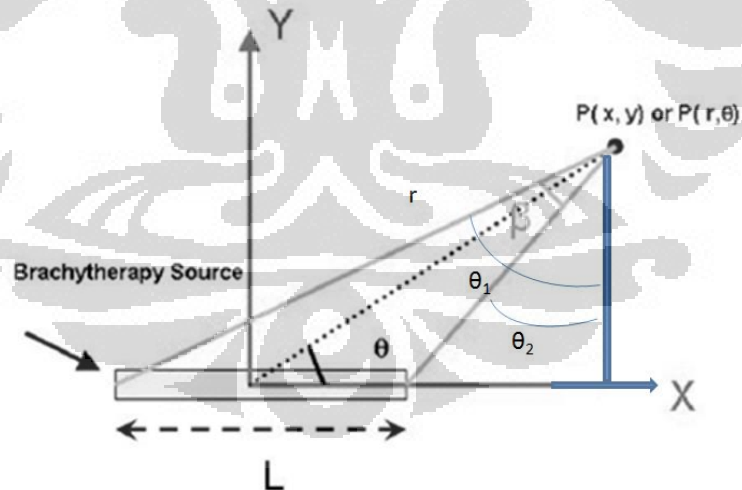
Fungsi geometri menyatakan variasi distribusi spasial sumber akibat pengaruh ukuran sumber dan distribusi sumber aktif di dalam sumber tersebut. Factor geometri diberikan dengan persamaan :

$$G(r, \theta) = r^{-2} \text{ ( untuk sumber titik)}$$

$$G(r, \theta) = \frac{\beta}{Lr \sin \theta} \text{ ( untuk sumber garis)} \quad (2.9)$$

Dimana L adalah panjang sumber radiasi brakiterapi yang digunakan, sedangkan  $\beta$  adalah sudut yang dijadikan acuan untuk menentukan sumber sebagai objek 1D atau 2D. Untuk setiap nilai  $\theta$ ,  $\beta$  berbanding terbalik dengan nilai r,  $\beta$  bernilai maksimum pada  $\theta$  bernilai  $\pi/2$ . Berdasarkan skema pada gambar 2.6, persamaan (2.9) yang bentuknya masih umum dapat diperjelas menjadi:

$$G(r, \theta) = \frac{\text{atan}\left(\frac{x+L/2}{y}\right) - \text{atan}\left(\frac{x-L/2}{y}\right)}{Lr \sin \theta} \quad (2.10)$$



Gambar 2.6. Skema perhitungan nilai  $\beta$  dalam faktor geometri

### 2.8.3 Fungsi Dosis Radial

Fungsi dosis radial adalah menghitung efek serapan dan hamburan dalam medium sepanjang sumbu tegak lurus. Dirumuskan dengan persamaan :

$$g(r) = \frac{D(r, \frac{\pi}{2}) \cdot G(1, \frac{\pi}{2})}{D(1, \frac{\pi}{2}) \cdot G(r, \frac{\pi}{2})} \quad (2.11)$$

Jarak 1 cm dari sumber adalah nilai  $r$  referensi sebagai tempat dimana nilai dosis optimum berada.

### 2.8.4 Fungsi Anisotropi

Fungsi anisotropi menentukan anisotropi distribusi dosis di sekitar sumber, efek ditimbulkan dari serapan dan hamburan dalam medium. Dirumuskan dalam persamaan:

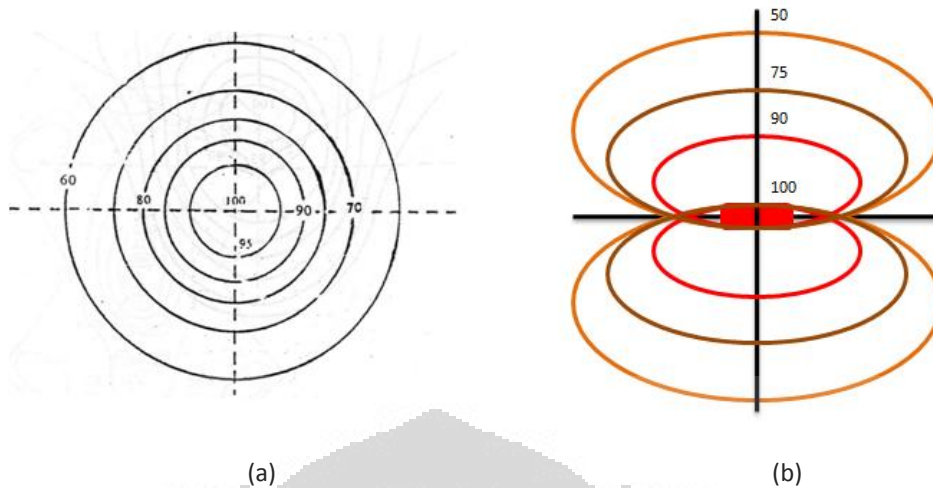
$$F(r, \theta) = \frac{D(r, \theta) \cdot G(r_0, \frac{\pi}{2})}{D(r_0, \frac{\pi}{2}) \cdot G(r, \theta)} \quad (2.12)$$

Dimana  $D(1, \pi/2)$  adalah nilai dosis dan  $G(1, \pi/2)$  adalah faktor geometri yang diukur pada jarak 1 cm dengan sudut  $90^\circ$  sebagai referensi .

## 2.9 Kurva isidosis

Pada radioterapi eksternal (*teleterapi*) yang menggunakan sumber radiasi berenergi tinggi seperti pesawat Linac atau Co-60, sebelum dilakukannya treatment pada pasien akan ada proses perencanaan terlebih dahulu yang dikenal sebagai *Treatment Planning Sistem* (TPS).

Tujuan dari TPS dalam radioterapi adalah untuk menentukan teknik apa yang harus digunakan ke pasien yang memiliki tumor, agar penyinaran berhasil sesuai dengan apa yang diharapkan yaitu mematikan sel kanker namun meminimalisir jaringan sehat disekitarnya.



**Gambar 2.7 Kurva isodosis (a) sumber berbentuk point <sup>[10]</sup> & (b) sumber berbentuk garis.**

Hasil dari TPS adalah citra 2 dimensi berupa kurva isodose sesuai dengan teknik yang coba disimulasikan berdasarkan pendekatan perhitungan computer. Teknik penyinaran yang akan dipilih akan sangat bergantung dari hasil simulasi distribusi dosis tersebut sesuai kebutuhan akan posisi, bentuk dan jaringan sehat di sekitar tumor.

Kurva isodosis dalam brakiterapi digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu sumber radioaktif. Melalui kurva distribusi dosis bisa didapat berbagai parameter yang diperkenalkan oleh AAPM- TG 43 dari persentase distribusi dosis, Fungsi geometri, Fungsi dosis Radial dan Fungsi Anisotropinya.

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini adalah untuk memverifikasi sumber Ir-192 LDR brakhiterapi buatan PRR Batan Serpong dengan protokol *American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group no.43* yang merupakan standar perhitungan sumber brakhiterapi di dunia. Faktor koreksi secara teori yaitu nilai fungsi geometri sumber  $G(r,\theta)$  dan faktor koreksi secara eksperiment yaitu nilai fungsi dosis radial  $g(r,90^0)$  dan nilai fungsi anisotropi  $F(r,\theta)$  pada protokol AAPM TG-43 adalah parameter penting yang diperlukan untuk memverifikasi sumber.

Pada penelitian ini, untuk mendapatkan faktor koreksi tersebut dibagi menjadi tiga tahap yaitu :

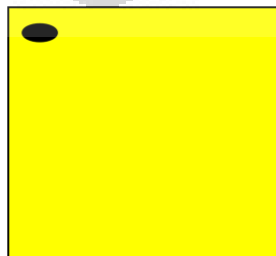
1. Persiapan peralatan
2. Pengambilan data
3. Pengolahan data

#### 3.1 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- **Film Gafchromic tipe EBT 2**

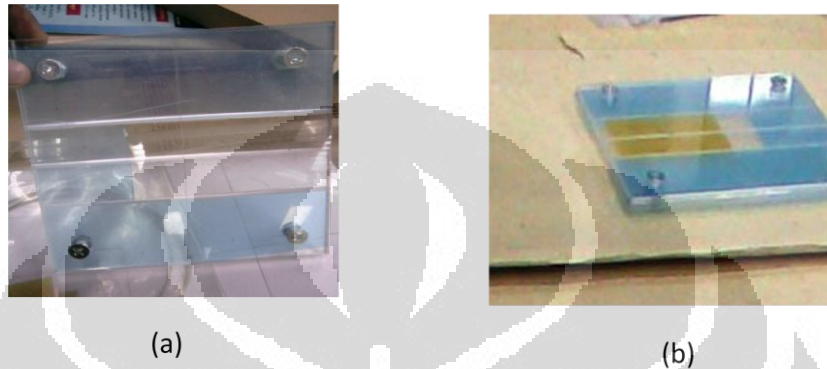
Film ini digunakan sebagai dosimeter radiasi. Film tersebut dipotong dengan dimensi 10 x 10 cm. Dimensi ini bertujuan agar hasil proses radiasi dari sumber Ir-192 LDR yang diletakan ditengah film bisa terlihat pada jarak dari 0 s.d 5 cm. Setiap film yang digunakan diberi tanda marker yang sama pada sudut kiri atas



**Gambar 3.1 Film Gafchromic dengan marker**

- **Penyangga posisi film di udara**

Penyangga terbuat dari akrilik yang dirancang agar posisi film melayang di udara setinggi 10 cm sehingga proses radiasi sumber dari film tidak mengalami gangguan efek hambur dari media lain seperti meja.



**Gambar 3. 2 Penyangga posisi film di udara (a) tanpa film (b) dengan film**

- **Fantom Air**

Fantom air digunakan untuk percobaan meradiasi film dengan sumber Ir-192 LDR pada media air. Fantom dibuat berdimensi kubus terbuka untuk wadah air dengan dimensi setiap rusuk 30 cm .

- **Scanner khusus microtex 1000 XL**

Scanner microtex 1000 xl digunakan karena kemampuannya yang mampu memindai film ke citra digital dengan resolusi maksimal.



**Gambar 3. 3 Scanner Microtek 1000 xl high resolution**

- **Piranti Lunak atau Software**

Piranti lunak atau yang kita kenal dengan istilah *software* merupakan faktor pendukung penting untuk mengolah data percobaan dari hasil dosimeter yang masih berbentuk fisik. Melalui bantuan software ini data yang masih berbentuk fisik bisa diolah dalam bentuk digital. Adapun software yang digunakan pada percobaan ini yaitu :

- a. *Film QA*
- b. *Corel Draw*
- c. *Image-J*
- d. *Matlab 7.1*
- e. *Microsoft Excel*

### **3.2 Prosedur Pengambilan Data**

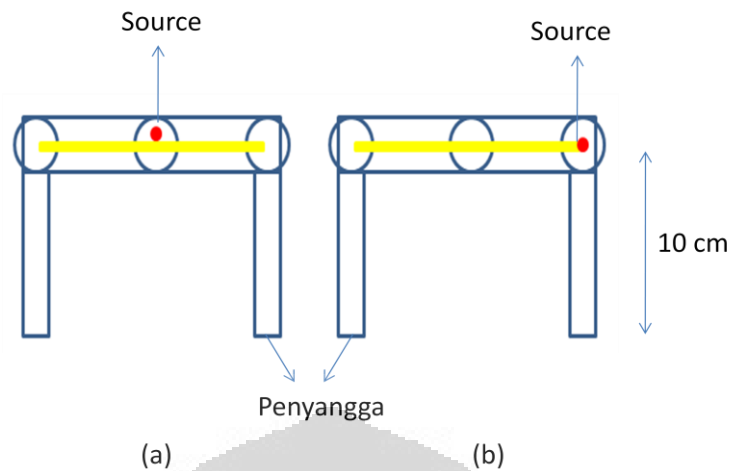
Pengambilan data pada penelitian ini berupa meradiasi film gafchromic dengan sumber radiasi Ir-192 LDR pada jarak dekat (sumber menempel dengan film). Variasi pengambilan data pada penelitian ini yaitu :

1. Set Up Posisi sumber terhadap film
2. Media yang digunakan
3. Variasi waktu meradiasi film.

#### **3.2.1 Set Up Posisi Sumber Terhadap Film**

Peletakkan sumber dilakukan di tengah dan disamping film. Variasi ini ditujukan untuk melihat besar kecilnya perbedaan nilai dosis yang terjadi pada suatu titik terhadap sumber akibat adanya perbedaan kecil fungsi geometri.

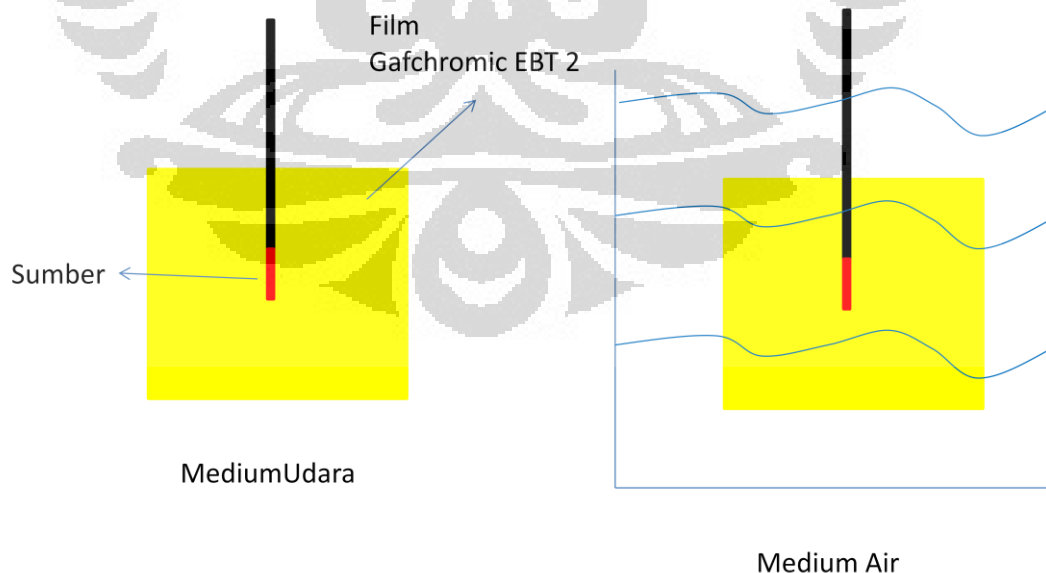




Gambar 3. 4 (a) skema posisi sumber di tengah film (b) skema posisi sumber disamping film

### 3.2.2 Media Air dan Udara

Pengukuran tidak hanya dilakukan pada media udara tetapi juga pada media air, hal ini dilakukan dengan dasar sumber Ir-192 LDR dibuat untuk kepentingan brakhiterapi terutama pada bagian ceviks dimana terdapat kandungan air yang banyak. Pengaruh media tersebut sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui efek serapan dan hamburan sumber pada sumbu radial dan di sekitar sumber  $g(r,90^0)$  &  $F(r,\theta)$ .



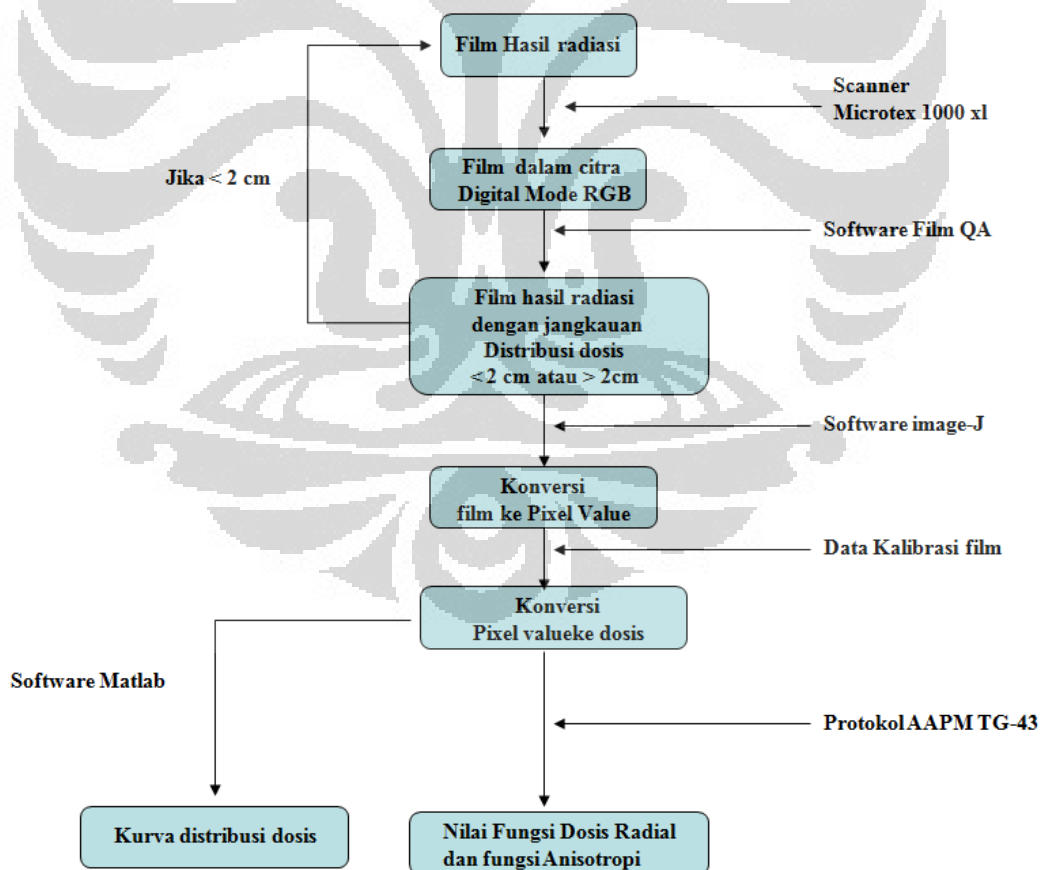
Gambar 3. 5 skema proses radiasi film pada media udara dan air

### 3.2.3 Lama Waktu Meradiasi Film

Variasi waktu dilakukan untuk melihat tingkat kehitaman warna film gafchromic akibat proses radiasi. Variasi dilakukan dengan waktu 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, 18 jam, dan 4 hari. Variasi ini bersifat tidak mengikat, dimana lama waktu meradiasi disesuaikan jangkauan radiasi sumber pada film, karena data verifikasi yang dibutuhkan pada penelitian ini mencapai 5 cm maka film yang dibutuhkan adalah yang terpapar sejauh 5 cm.

### 3.3 Pengolahan Data

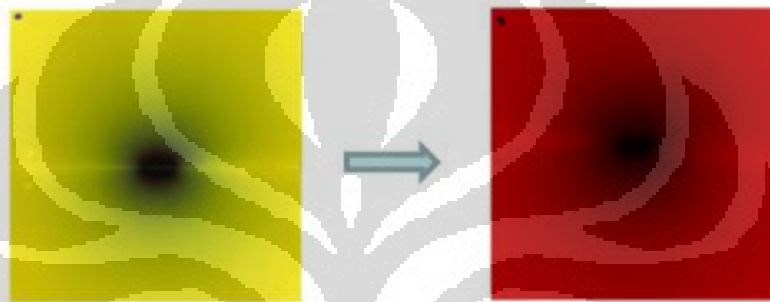
Data yang akan diolah pada penelitian ini adalah film gafchromic yang berubah warna akibat terpapar radiasi. Proses pengolahan dari berupa data mentah sampai hasil yang ingin dituju pada protkol AAPM TG-43 melalui beberapa tahap seperti yang dapat dilihat pada skema gambar 3. berikut.



Gambar 3.6 Skema alur pengolahan data film

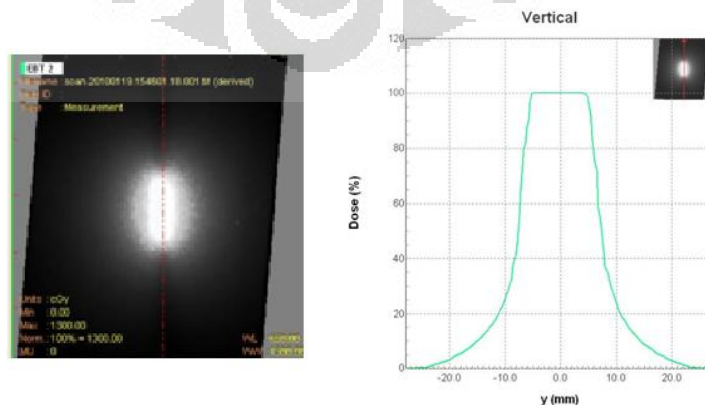
### 3.3.1 Film Citra Digital dengan Mode RGB

Film hasil radiasi di konversi ke citra digital oleh scanner dengan mode *red-green-blue* (RGB), resolusi 75 dpi dan format Tiff. Mode RGB yang mempunyai 3 komponen level warna diubah menjadi 1 komponen level warna merah untuk memudahkan dalam pencocokan dengan data kalibrasi yang juga menggunakan komponen level warna merah. Komponen level warna merah digunakan karena tingkat respon energi tertinggi film gafchromic ada pada warna merah sesuai dengan respon serapan maksimum pada panjang gelombangnya.



Gambar 3.7 Perubahan Chanel 3 warna RGB menjadi chanel merah saja

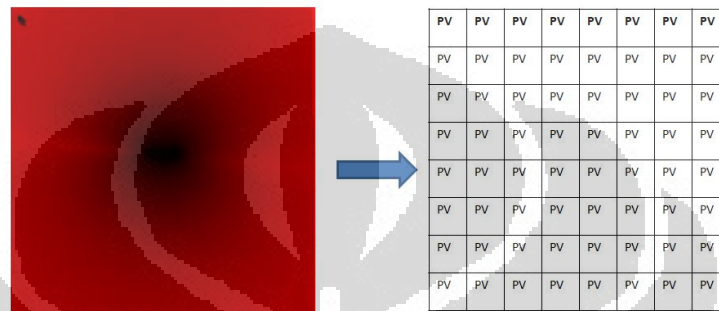
Film tersebut akan di cek dengan software khusus yaitu film QA untuk melihat jangkauan radiasi yang terjadi pada film apakah  $<2\text{cm}$  atau  $>2\text{cm}$ . sesuai dengan literature pada penelitian *The CLRP TG-43 Canada Capital University Microselectron* dimana datasheet verifikasi untuk sumber brakhiterapi adalah 5 cm. Film yang paparannya tidak terbaca oleh film QA  $> 2$  cm dianggap sebagai data yang tidak memadai sehingga diperlukan pengambilan data ulang dengan penambahan intensitas waktu paparan.



Gambar 3.8 Bacaan jangkauan distribusi dosis dengan software film QA

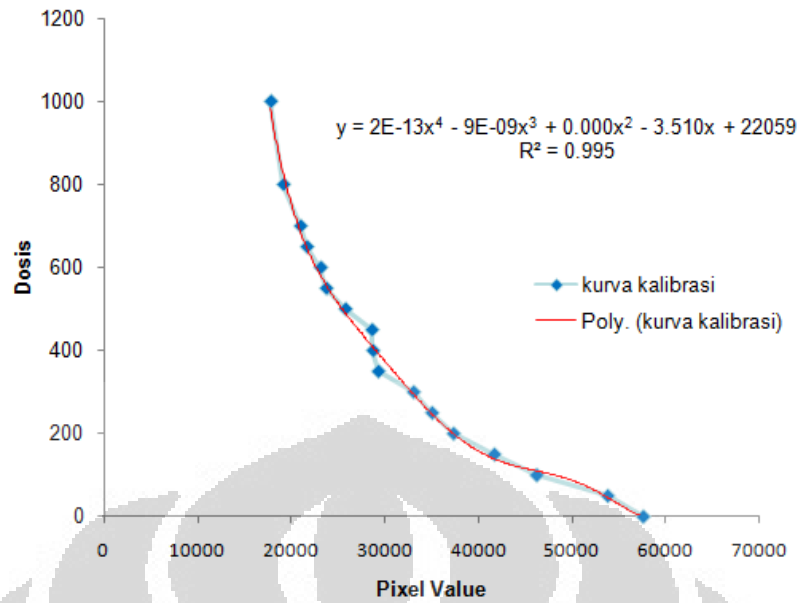
### 3.3.2 Konversi Pixel Value dan Dosis

Film dalam citra digital yang sudah dalam bentuk 1 komp level warna merah akan dikonversi ke text image dimana nilai dari setiap dot adalah pixel value. Nilai tersebut menjelaskan besar kecilnya setiap dot bagian film yang terpapar radiasi. Semakin hitam warna film maka akan menunjukkan nilai Pixel value yang semakin kecil sesuai dengan kurva komp level warna .



**Gambar 3.9 Skema konversi Optical density ke dalam Pixel Value**

Proses akhir dari pengolahan data penelitian ini adalah nilai dosis di film yang bisa didapat dengan mengonvert pixel value dengan data kalibrasi film. Data kalibrasi berbanding terbalik dengan pixel value dimana untuk bagian film yang berwarna hitam memiliki nilai dosis yang lebih besar dibanding dengan nilai dosis pada bagian film yang berwarna merah. Dengan didaptkannya nilai dosis di film dalam citra digital maka bisa dilihat distribusi dosis disekitar sumber pada kurva isodosis serta nilai-nilai parameter yang ingin dicari pada protocol AAPM TG-43.



Gambar 3.10 Kurva data kalibrasi film<sup>[11]</sup>

### 3.3.3 Pendekatan Nilai Dengan Interpolasi dan Smoothing

Interpolasi adalah perkiraan suatu nilai tengah dari satu set nilai yang diketahui. Digunakannya interpolasi untuk menyesuaikan antara data kalibrasi dan eksperimen dimana data kalibrasi tidak mengakomodir data yang didapatkan dari eksperimen.

Interpolasi yang digunakan untuk mengakomodir data kalibrasi terhadap data eksperimen adalah interpolasi 2D yang dijelaskan sebagai berikut:



Sedangkan untuk pendekatan nilai pada kurva isodose digunakan interpolasi 3D untuk bisa mengetahui suatu nilai dosis pada koordinat (x,y) tertentu karena tidak semua nilai dosis pada koordinat terakomodir. Ilustrasi interpolasi 3D dijelaskan sebagai berikut.

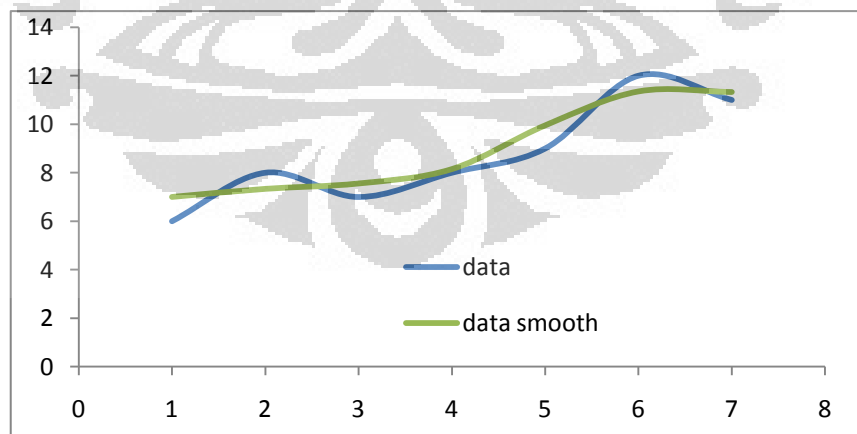
		X		
		1cm	1,5 cm	2cm
Y	1cm	5	....	10
	1,5 cm	....	....	....
	2 cm	1	....	5

↓

		X		
		1cm	1,5 cm	2cm
Y	1cm	5	7,5	10
	1,5 cm	3	5,25	7,5
	2 cm	1	3	5

Melalui interpolasi 3D bisa didapatkan informasi pada setiap koordinat yang tidak terakomodir pada data percobaan. Interval pembacaan jarak per satuan dosis yang semula 0.33867 mm yang didapat dari hasil penyecanan film dengan resolusi 75 dpi bisa di pedetail hingga 0.0667 mm per satuan dosis melalui interpolasi 3D<sup>[12]</sup>.

Smoothing adalah sebuah cara penghalusan data berantai yang memiliki fluktuatif nilai tajam. Pada hasil eksperimen dimana data akan ditampilkan dalam bentuk kurva, sering terjadi nilai plot yang fluktuatsinya tajam sehingga smoothing sangat diperlukan untuk meminimalisasi fluktuasi data yang ada.



**Gambar 3.11** Contoh kurva Smothing data dengan metode simple moving average

Pada gambar 3.7 ditunjukkan hasil suatu smoothing data dengan metode simpel moving average dimana terlihat perbedaan data sebelum dan sesudah.

Data asli berwarna biru yang memiliki fluktuasi tinggi bisa diperhalus dengan metode tersebut.

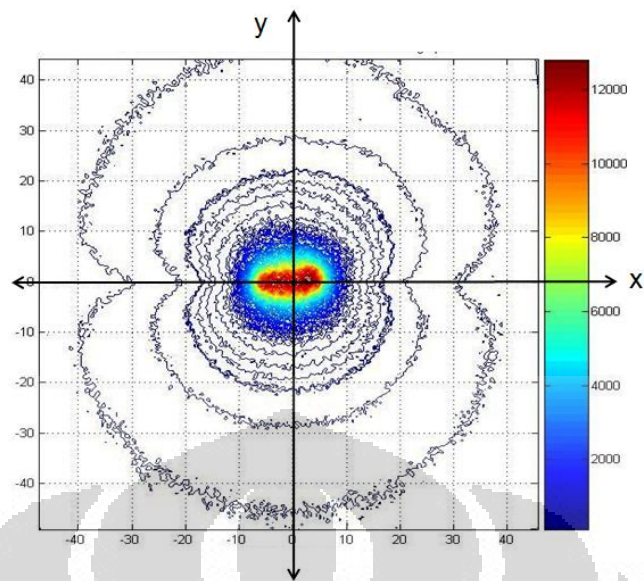
**Tabel 3.1 Contoh data yang dismoothering dengan metode simpel moving average**

x	y	y'
parameter	data	data
tetap	percobaan	smooth
1	6	7.000
2	8	7.333
3	7	7.556
4	8	8.148
5	9	9.951
6	12	11.350
7	11	11.325

Metode simple moving average adalah smoothing yang memperhatikan bobot rata-rata data sebelum dan sesudah data yang akan di smoothing. Secara sederhana bisa dilihat pada contoh data di tabel 3.1

### **3.3.4 Perhitungan Parameter Faktor Koreksi AAPM TG-43**

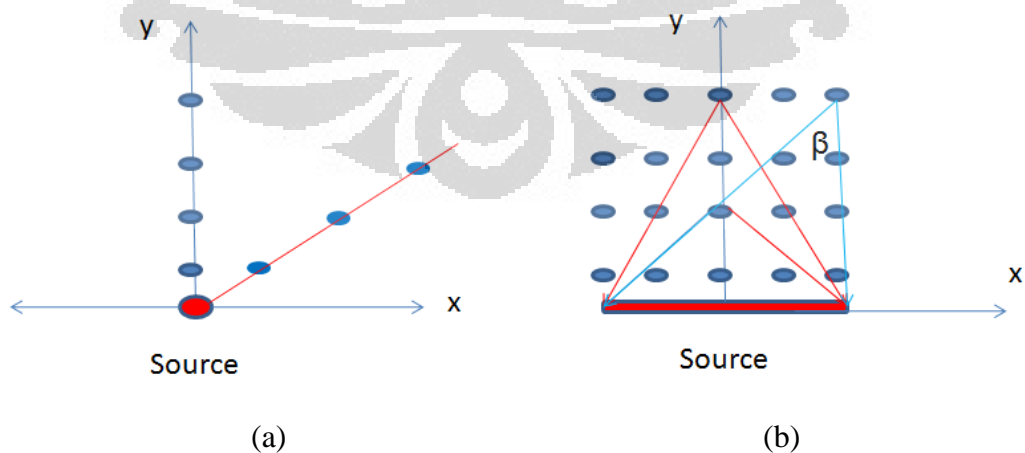
Film hasil paparan radiasi dalam bentuk *text image* yang sudah diolah menjadi nilai dosis akan dilihat distribusi dosisnya dalam bentuk kurva isodose. Pada kurva tersebut penentuan sumber aktif bisa dilakukan sebagai acuan titik koordinat yang akan digunakan dalam perhitungan parameter-parameter nilai fungsi geometri  $G(r,\theta)$ , fungsi dosis radial  $g(r,90^0)$ , dan fungsi anisotropi  $F(r,\theta)$  pada protokol AAPM TG-43.



Gambar 3.12 Skema koordinat kartesian pada kurva isodose

- **Perhitungan Fungsi Geometri  $G(r,\theta)$**

Geometri sumber yang berbentuk batang menjadikan perhitungan nilai fungsi geometri pada penelitian ini menggunakan persamaan (2.9) dimana ada sudut  $\beta$  yang terbentuk diantara ujung-ujung sumber. Perhitungan ini berbeda dengan sumber yang berbentuk point dimana geometri pada setiap posisi terhadap sumber tidak membentuk suatu sudut elevasi. Nilai fungsi tersebut akan di plot terhadap jarak untuk melihat geometri sumber terhadap jarak.

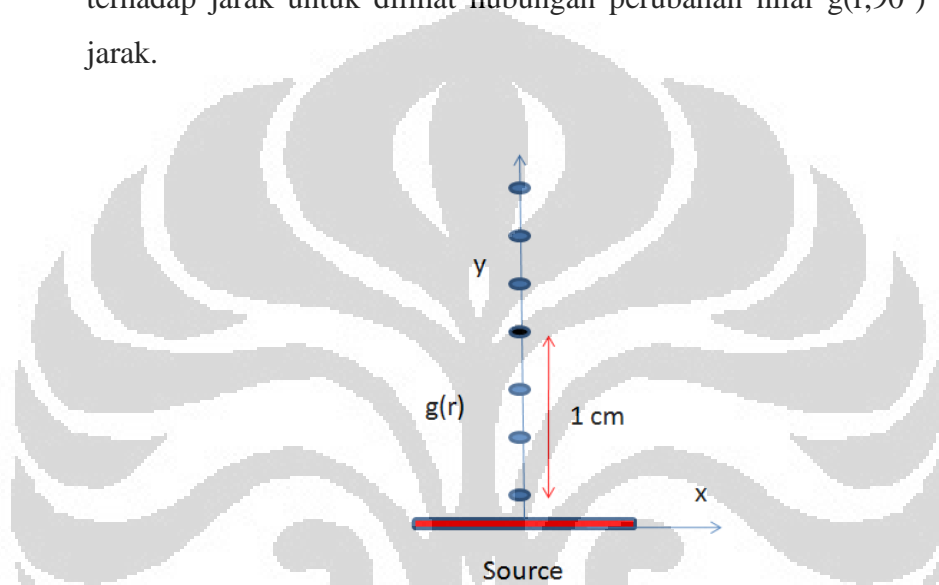


Gambar 3.13 (a) Skema fungsi Geometri sumber point & (b) Skema fungsi Geometri sumber garis



- **Perhitungan Fungsi Dosis Radial  $g(r,90^0)$**

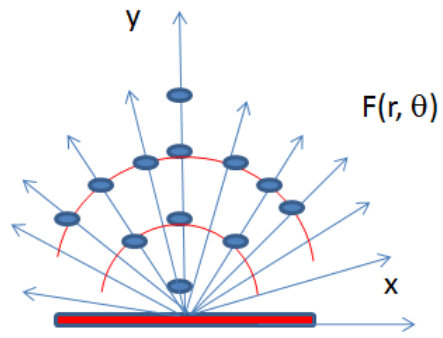
Fungsi dosis radial atau efek hambur dosis pada sumbu radial dihitung menggunakan persamaan (2.11). Titik referensi perhitungan adalah jarak 1 cm dari sumber. Fungsi tersebut dihitung untuk nilai dosis yang berada pada sepanjang sumbu radial pada koordinat  $(0,Y)$  seperti yang terlihat pada gambar 3.12 (b). Sebagai faktor koreksi, nilai fungsi ini akan di plot terhadap jarak untuk dilihat hubungan perubahan nilai  $g(r,90^0)$  terhadap jarak.



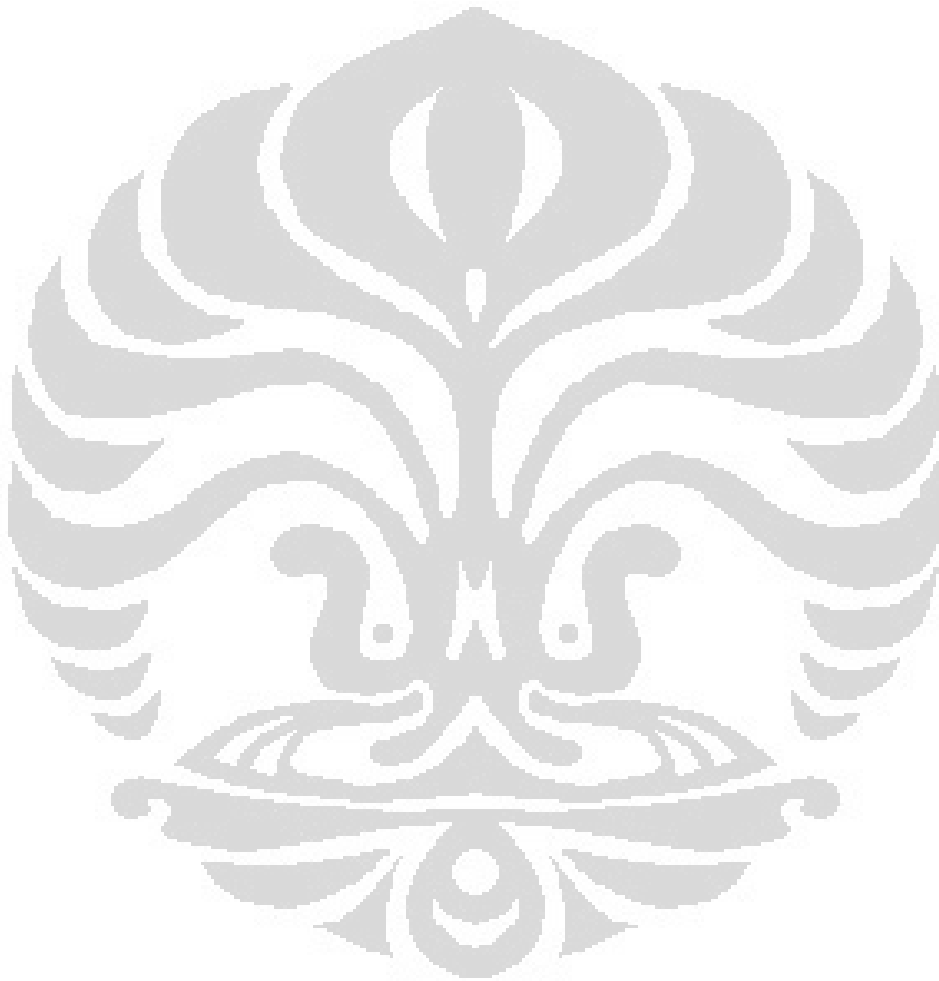
**Gambar 3.14 Skema perhitungan efek hamburan pada sumbu radial  $g(r,90)$**

- **Perhitungan Fungsi Anisotropi  $F(r,\theta)$**

Fungsi anisotropi atau efek hambur dosis di sekitar sumber dihitung dengan referensi nilai dosis pada posisi  $(r,90^0)$ . Pada persamaan (2.12) fungsi tersebut merupakan perluasan dari  $g(r,90^0)$  namun pada fungsi ini nilai  $\theta$  berubah. Hasil fungsi ini diplot terhadap sudut dari  $0^0$ - $180^0$  untuk setiap jarak. Plot fungsi tersebut terhadap sudut pada setiap jarak dilakukan untuk melihat pengaruh jarak terhadap nilai fungsi tersebut.



Gambar 3.15 Skema perhitungan efek hamburan di sekitar sumber  $F(r, \theta)$

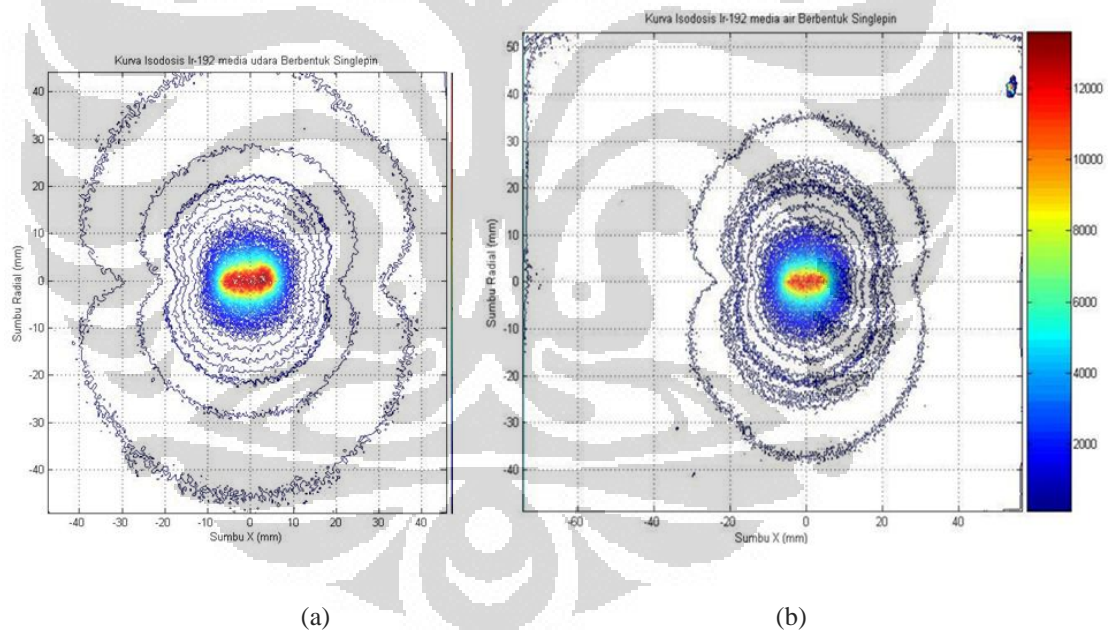


## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kurva Isodosis

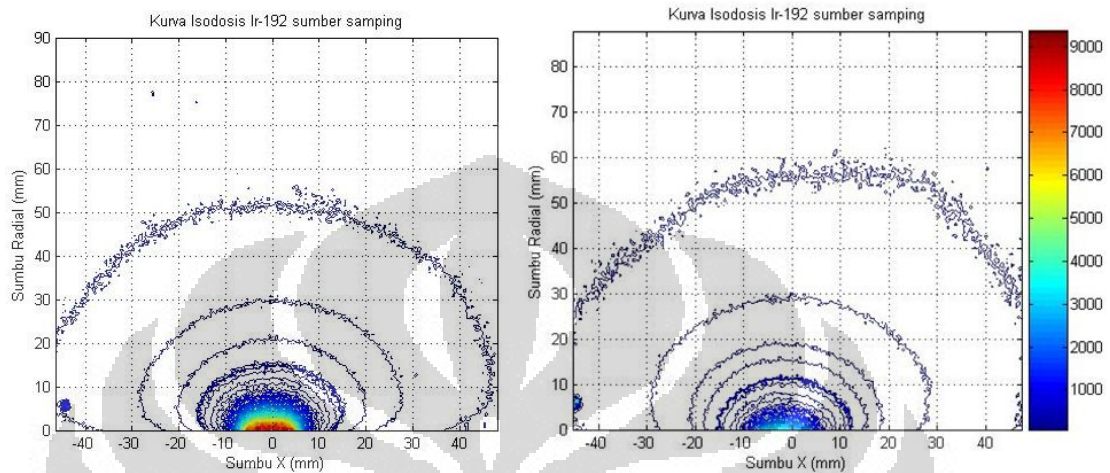
Pembacaan hasil penyinaran sumber radiasi Ir-192 LDR buatan PRR BATAN pada dosimeter film ke bentuk kurva isodosis diperlihatkan pada gambar 4.1. Pada gambar tersebut terlihat jangkauan berkas radiasi sumber pada medium air dan udara yang terukur film menunjukkan adanya perbedaan. Perbedaan semakin terlihat jelas pada jarak yang semakin jauh dari sumber. Pada gambar 4.1(a) dimana proses radiasi film pada medium udara jangkauan berkas radiasi terlihat melewati jarak 4 cm sedangkan pada gambar 4.1(b) jangkauan berkas radiasi sumber pada medium air tidak melewati jarak 4 cm.



**Gambar 4.1 Kurva isodosis sumber pada posisi di tengah film (a) media udara & (b) media air**

Pada kurva isodosis sumber yang diletakan di samping posisi film, besar jangkauan berkas radiasi menunjukkan hasil yang berbeda dengan sumber di tengah film. Pada gambar 4.2 terlihat jangkauan berkas radiasi terjauh pada medium udara dan air hampir sama yaitu berada pada jarak antara 5 s.d 6 cm. Pada jarak posisi dekat dengan sumber, jangkauan berkas radiasi pada medium

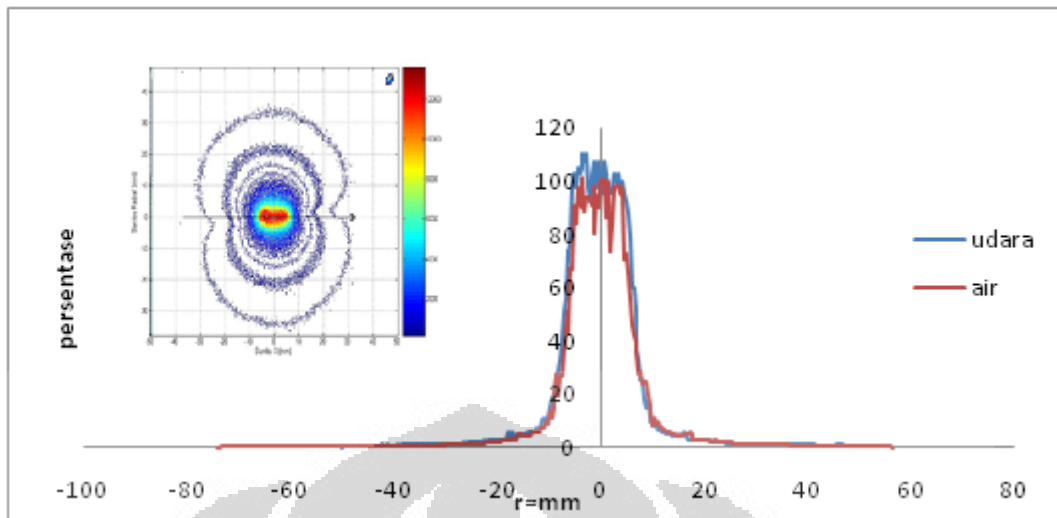
udara lebih banyak memiliki tingkat variasi energi dibandingkan jangkauan berkas pada medium air. Tingkat variasi energi sangat terlihat pada indikator warna dimana variasi energy pada medium air tidak menunjukkan tingkat energi yang besar berwarna merah seperti pada medium udara.



**Gambar 4.2 Kurva isodosis sumber pada posisi di samping film (a) media udara & (b) media air.**

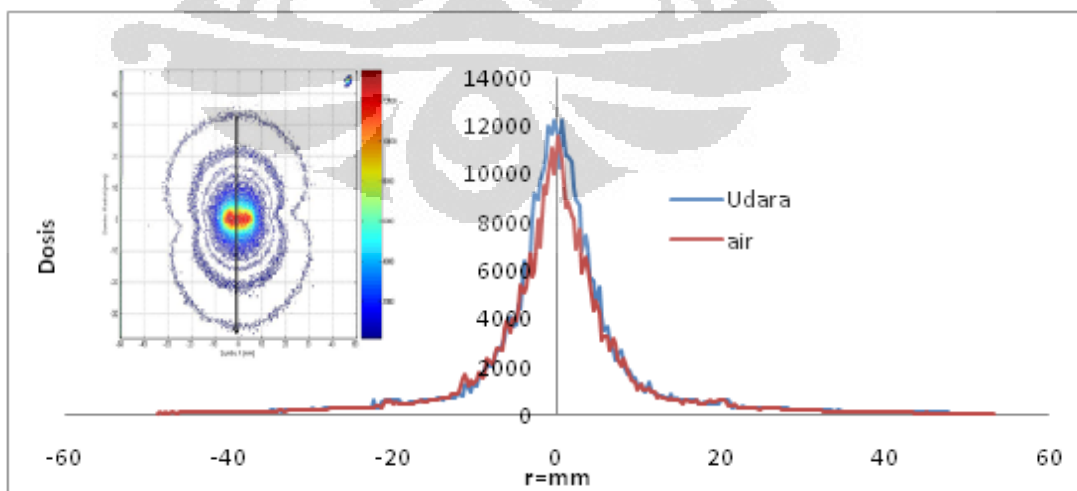
#### **4.2 Berkas distribusi dosis sumber pada sumbu horizontal dan vertical**

Pada kurva distribusi dosis sumber pada sumbu horizontal yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 menunjukkan perbedaan variasi energi yang cukup besar pada bagian film yang langsung bersinggungan dengan sumber aktif Ir-192 LDR. Hal tersebut terlihat pada jangkauan 0.5 cm dari arah kiri maupun kanan sepanjang dimensi sumber aktif menunjukkan perbedaan nilai dosis pada kedua medium. Hasil bacaan dari film menunjukkan sumber yang terbaca pada medium udara memiliki nilai dosis lebih besar dibandingkan medium air. Pada jangkauan 1 s.d 5 cm dari arah kiri maupun kanan nilai variasi energi untuk sumber di kedua medium menunjukkan nilai yang hampir sama.



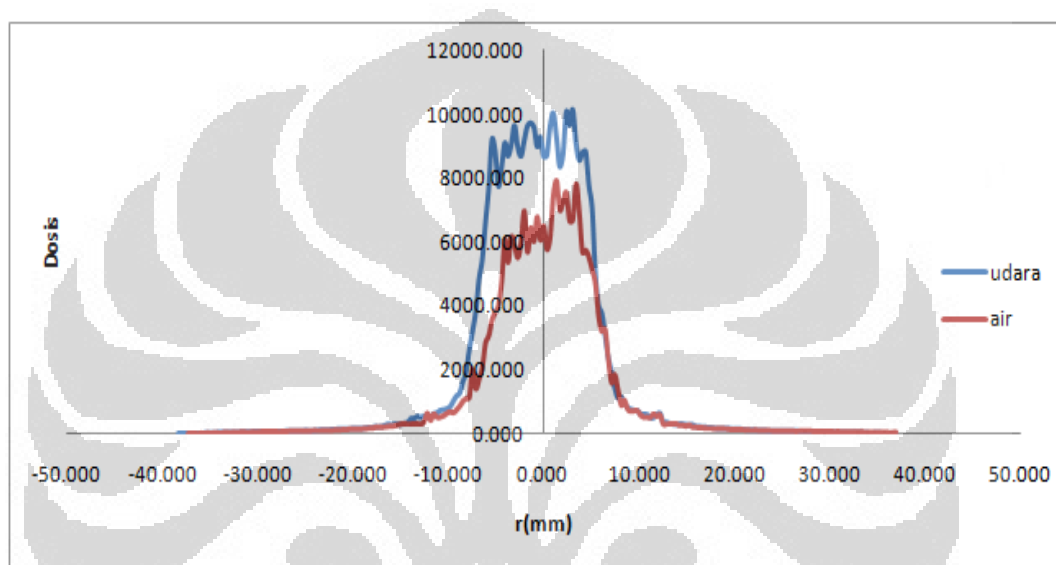
**Gambar 4.3 Kurva distribusi dosis pada sumbu horizontal sumber di tengah film**

Pada kurva distribusi dosis pada sumbu vertikal yang ditunjukkan pada gambar 4.4 menunjukkan hasil serupa untuk bagian film yang langsung bersinggungan dengan sumber aktif Ir-192 LDR dimana pada sepanjang lebar sumber aktif 0.85 mm s.d jarak 1 cm dari arah atas dan bawah nilai dosis pada film menunjukkan bacaan untuk sumber di medium udara memiliki energi yang lebih besar dibandingkan sumber pada medium air. Pada jangkauan di atas 1 cm nilai variasi energi sumber menunjukkan hasil dosis yang hampir sama untuk di kedua medium.



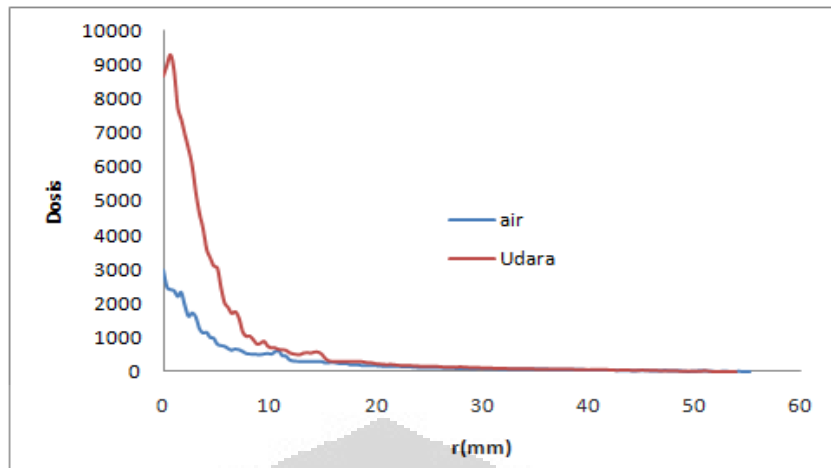
**Gambar 4.4 Kurva distribusi dosis pada sumbu vertikal sumber di tengah film**

Pada gambar 4.5 dimana posisi sumber diletakan di samping film untuk kedua medium, terjadi perbedaan nilai distribusi dosis yang besar pada jarak 1 cm dari arah kiri dan kanan. Pada jarak tersebut nilai dosis film yang diradiasi pada media air hanya sekitar setengah dari nilai dosis film yang diradiasi pada medium udara. Perbedaan tersebut akibat atenuasi media air dimana foton dengan energi rendah lebih banyak diserap sehingga energi dominan pada dekat sumber di medium air adalah energi rendah<sup>[13]</sup>.



**Gambar 4.5 Kurva distribusi dosis pada sumbu horizontal sumber di samping film.**

Perbedaan nilai distribusi dosis untuk sumber disamping film pada sumbu vertikal yang ditunjukkan gambar 4.6 juga menunjukkan perbedaan yang sama dimana terjadi perbedaan energi yang cukup besar pada jarak 0 s.d 1 cm. Hasil tersebut menjelaskan penggunaan medium air dan udara mempengaruhi perbedaan nilai distribusi dosis pada jarak dekat dengan sumber akibat atenuasi media air.

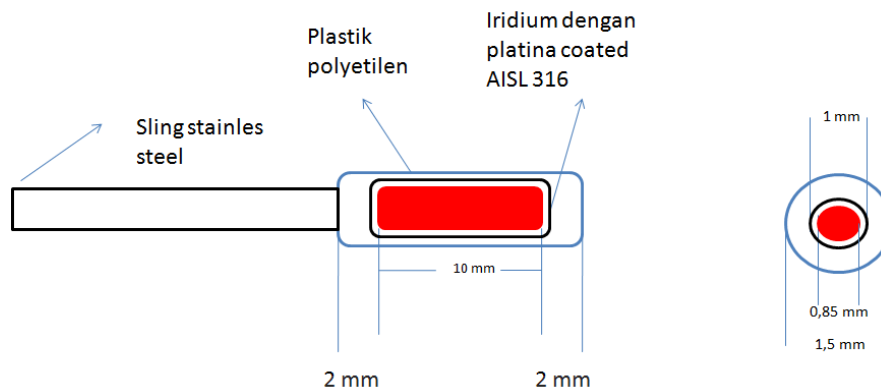


**Gambar 4.6 Kurva distribusi dosis pada sumbu vertikal sumber di samping film**

Berdasarkan keempat kurva distribusi dosis untuk sumber di tengah film dan di samping film, medium mempengaruhi jangkauan berkas sejauh 1cm dari permukaan sumber. Hubungan distribusi dosis terhadap jarak memenuhi kaidah hukum kuadrat jarak terbalik Newton (Newton's Inverse square law)<sup>[14]</sup>.

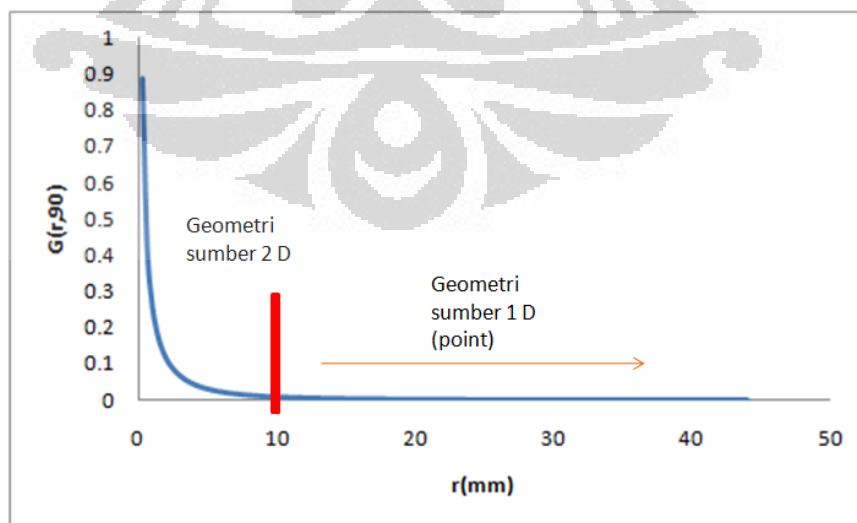
### **4.3 Pengaruh geometri sumber terhadap hamburan berkas**

Sumber brekiterapi penelitian ini adalah Ir-192 LDR buatan PRR BATAN serpong yang mempunyai dimensi berbentuk silinder dengan panjang sumber aktif 1cm dan jari-jari 0.85 mm yang dibungkus dengan kapsul stainless steel AISI 316L. Nilai fungsi geometri menyatakan variasi distribusi spasial sumber akibat pengaruh ukuran sumber dan distribusi aktif di dalam sumber itu sendiri. Nilai fungsi geometri merupakan pendekatan secara matematis yang bergantung pada bentuk sumber sudut sudut perspektif terhadap ujung-ujung sumber .



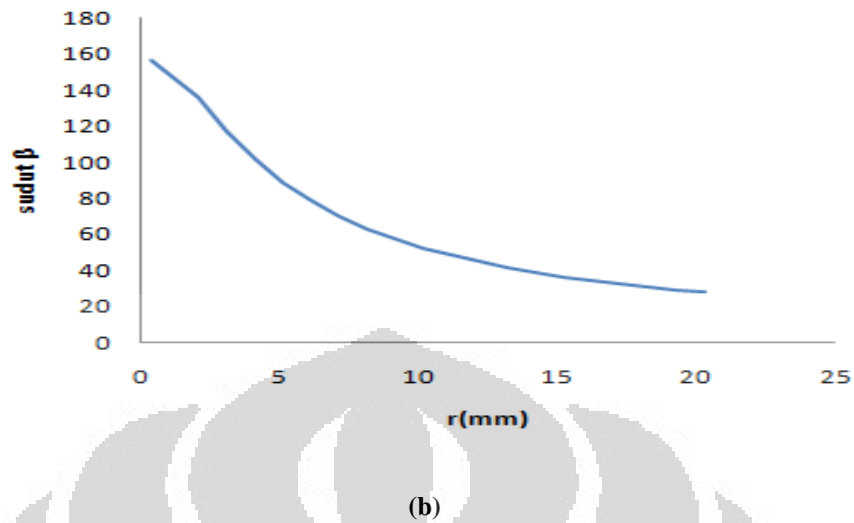
Gambar 4.7 Dimensi Sumber Ir-192 LDR dengan perspektif samping dan depan

Kurva pada gambar 4.8 (a) & (b) menggambarkan adanya distribusi spasial pada sumbu tegak lurus terhadap sumber dimana semakin jauh posisi dari sumber maka variasi distribusi spasial semakin kecil. Hubungan ini berkaitan erat dengan nilai sudut  $\beta$  yang merupakan acuan untuk sumber disebut sebagai objek 2 dimensi atau 1 dimensi seperti data yang tercantum pada tabel 4.1. Sesuai dengan persamaan (2.9) dimana semakin jauh titik  $P(r,\theta)$  dari sumber maka nilai  $\beta$  juga akan semakin kecil sehingga langsung berpengaruh terhadap nilai sinus yang mendekati satu. Pada nilai sinus yang mendekati satu geometri sumber dianggap point.



(a)





Gambar 4.8 (a) kurva hubungan  $G(r,90)$  terhadap jarak dan (b) kurva hubungan sudut  $\beta$  terhadap jarak

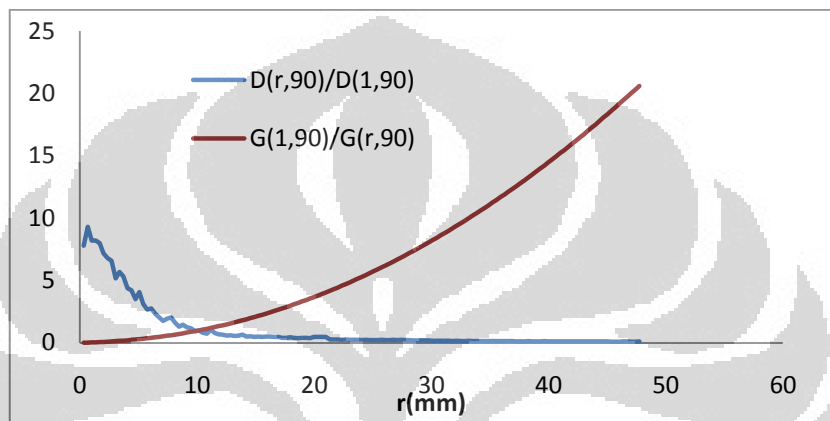
Tabel 4.1 fungsi geometri  $G(r,90)$  pada jarak 0 s.d 44 mm

r	$G(r,90)$
0.339	0.88769
5.080	0.03061
10.160	0.00900
15.240	0.00416
20.320	0.00237
25.062	0.00157
30.142	0.00109
35.222	0.00080
40.302	0.00061
44.027	0.00051

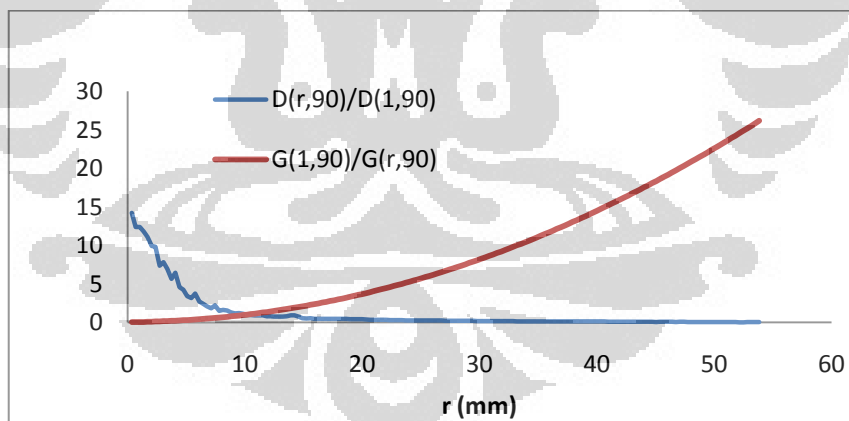
#### 4.4 Perhitungan Fungsi Dosis Radial $g(r)$

Fungsi dosis radial adalah nilai faktor koreksi efek serapan dan hamburan di sepanjang sumbu radial sumber. Nilai tersebut didapat melalui perhitungan yang mengkaitkan nilai dosis dan faktor geometri sumber terhadap suatu posisi

normalisasi di sepanjang sumbu radial yang ditunjukkan oleh persamaan (2.11). Pada gambar 4.9 nilai dosis yang di normalisasi pada jarak 1 cm memperlihatkan hubungan inverse square law, sedangkan nilai faktor geometri yang dinormalisasi berfungsi sebagai koreksi secara teori dimana semakin jauh dari sumber akan lebih banyak efek serapan maupun hamburan yang ada.



(a)

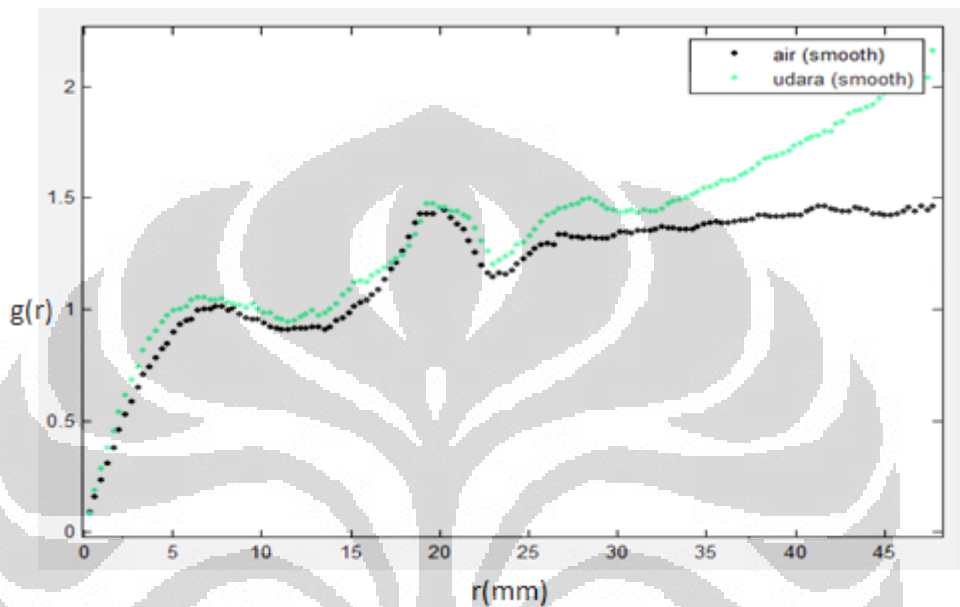


(b)

**Gambar 4.9** grafik  $D(r,90)/D(1,90)$  dan  $G(1,90)/G(r,90)$  terhadap jarak pada medium udara  
**(a) Sumber di tengah film (b) sumber di samping film**

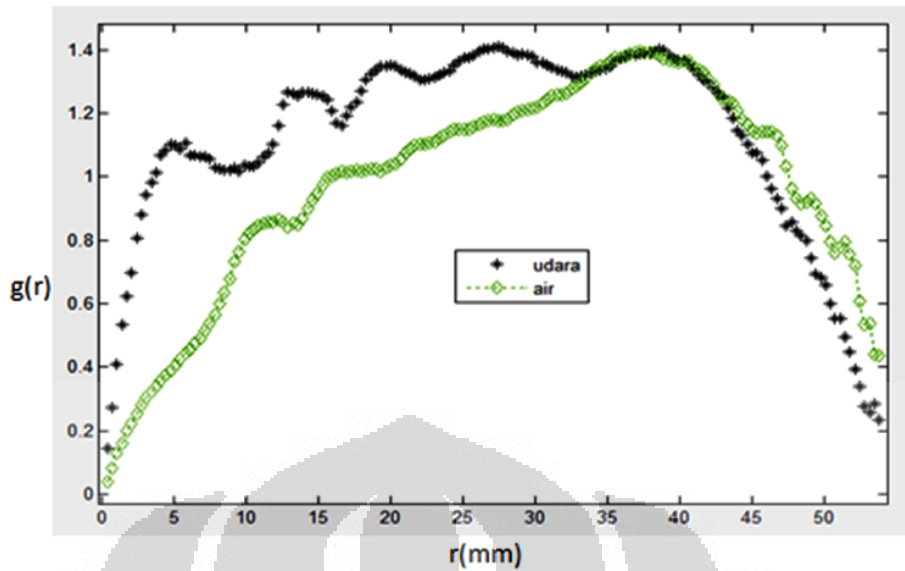
Fungsi dosis radial didapat dengan mengalikan faktor koreksi secara teori (geometri) dengan hasil data eksperimen (dosis) sehingga  $g(r)$  disebut sebagai faktor koreksi secara eksperiment. Nilai  $g(r)$  bisa dilihat pada gambar 4.10 dan

4.11. Pada gambar 4.10 untuk sumber di tengah film grafik hubungan  $g(r)$  terhadap jarak menunjukkan nilai  $g(r)$  yang semakin meningkat pada jarak yang semakin jauh dari sumber dan cenderung semakin saturasi. Pengaruh medium air terlihat ketika pada jarak 30 mm dimana nilai  $g(r)$  pada medium air cenderung lebih kecil dibandingkan nilai  $g(r)$  pada medium udara.



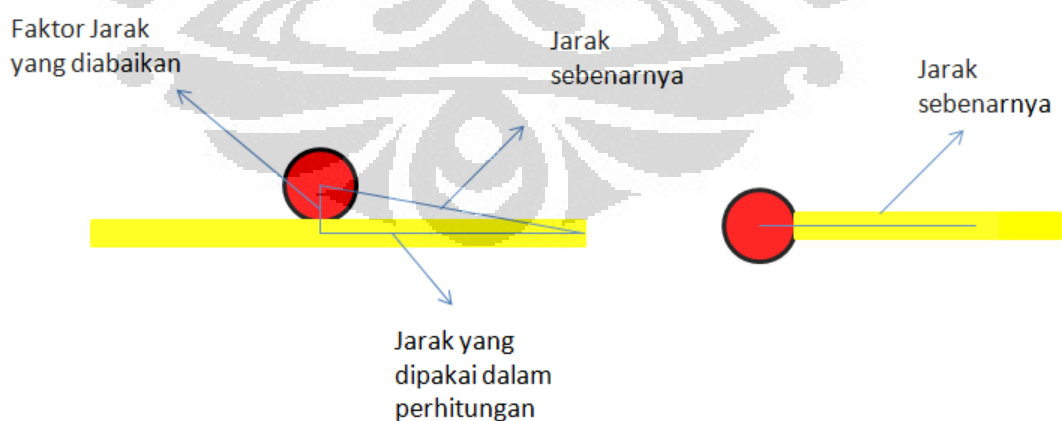
**Gambar 4.10** Kurva fungsi dosis radial pada medium air dan udara sumber di tengah film.

Hasil berbeda terlihat pada gambar 4.11 untuk sumber di samping film dimana nilai  $g(r)$  mempunyai nilai maksimum pada jarak tertentu dan kembali turun sesuai dengan literature *The CLRP TG-43 Canada Capital University Microselectron*<sup>[13]</sup>. Perbedaan mencolok nilai  $g(r)$  untuk sumber ditengah film dan disamping film adalah pengaruh mediumnya. Pada sumber di samping film nilai  $g(r)$  pada medium udara dan edium air memiliki perbedaan yang besar dari permukaan sumber sampai dengan jarak 4 cm, dimana semakin jauh dari sumber nilai  $g(r)$  cenderung sama.



**Gambar 4.11** Kurva fungsi dosis radial pada medium air dan udara sumber di samping film.

Hal ini disebabkan adanya faktor geometri yang diabaikan pada posisi sumber di tengah film. Faktor koreksi geometri yang diabaikan yaitu posisi sumber yang tidak segaris dengan film sehingga membentuk suatu sudut terhadap lokasi film yang diukur seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.12



**Gambar 4.12** Skema pengaruh geometri sumber di tengah film dan di samping film.

Nilai terbesar persentase perbedaan distribusi dosis pada medium air dan udara untuk sumber ditengah film adalah 26.65 % pada jarak 4.5 cm dari sumber sedangkan untuk sumber di samping film adalah 24.707 % pada jarak 4.0 cm. sehingga dapat diketahui pengaruh terbesar medium air terhadap nilai  $g(r)$  terjadi pada jarak 4 cm dari sumber.

**Tabel 4.2 fungsi dosis radial sumber di tengah film**

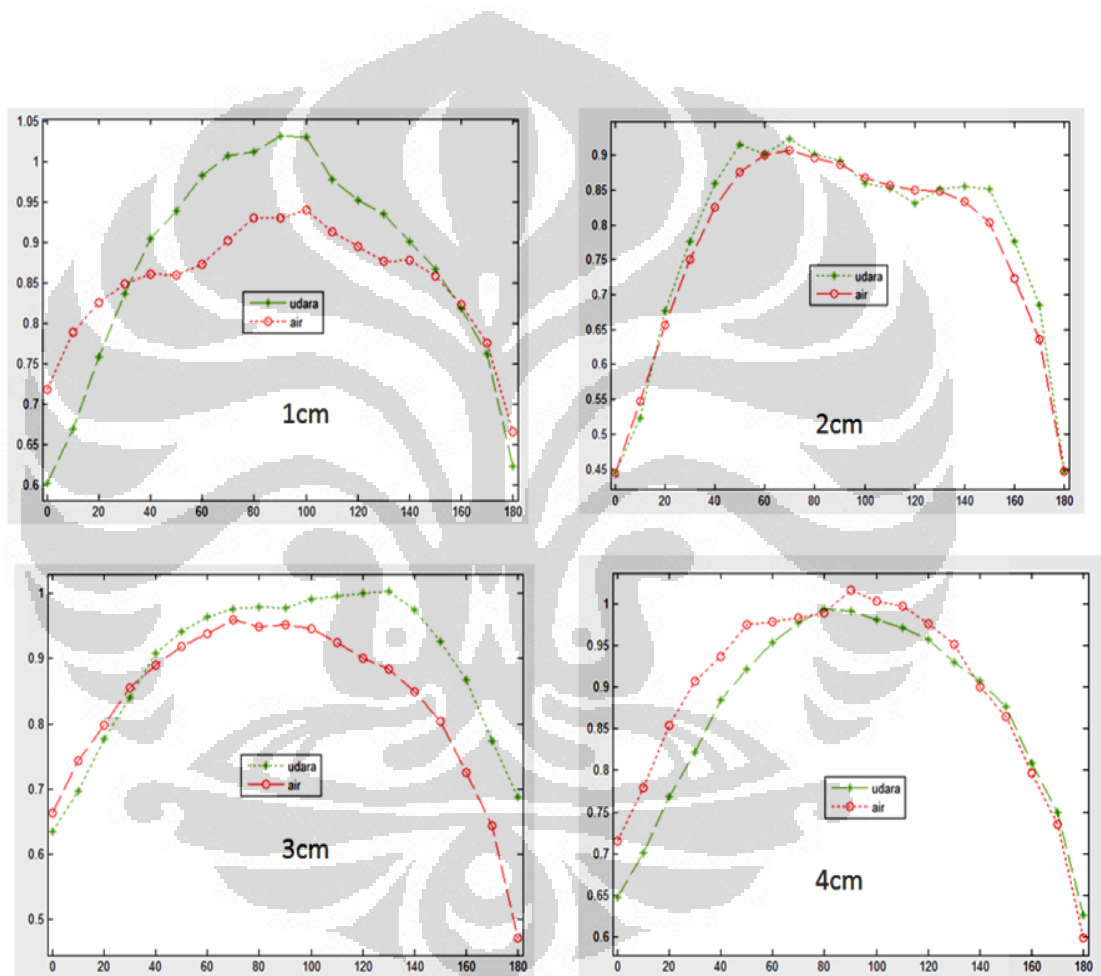
r(cm)	g(r)		Perbedan ( $\pm$ %)
	Udara	Air	
1.0	1.000	1.000	0.000
1.5	0.941	1.001	6.378
2.0	1.549	1.770	14.293
2.5	1.240	1.294	4.324
3.0	1.354	1.334	1.443
3.5	1.387	1.357	2.180
4.0	1.654	1.412	14.669
4.5	1.841	1.351	26.650

**Tabel 4.3 fungsi dosis radial sumber di samping film**

r(mm)	g(r)		Perbedaan ( $\pm$ %)
	Udara	Air	
1.0	1.000	1.000	0.000
1.5	1.223	1.184	3.248
2.0	1.426	1.259	11.775
2.5	1.413	1.287	8.883
3.0	1.499	1.334	11.024
3.5	1.532	1.327	13.385
4.0	1.645	1.238	24.707
4.5	1.887	1.447	23.320
5.0	1.086	0.981	9.628

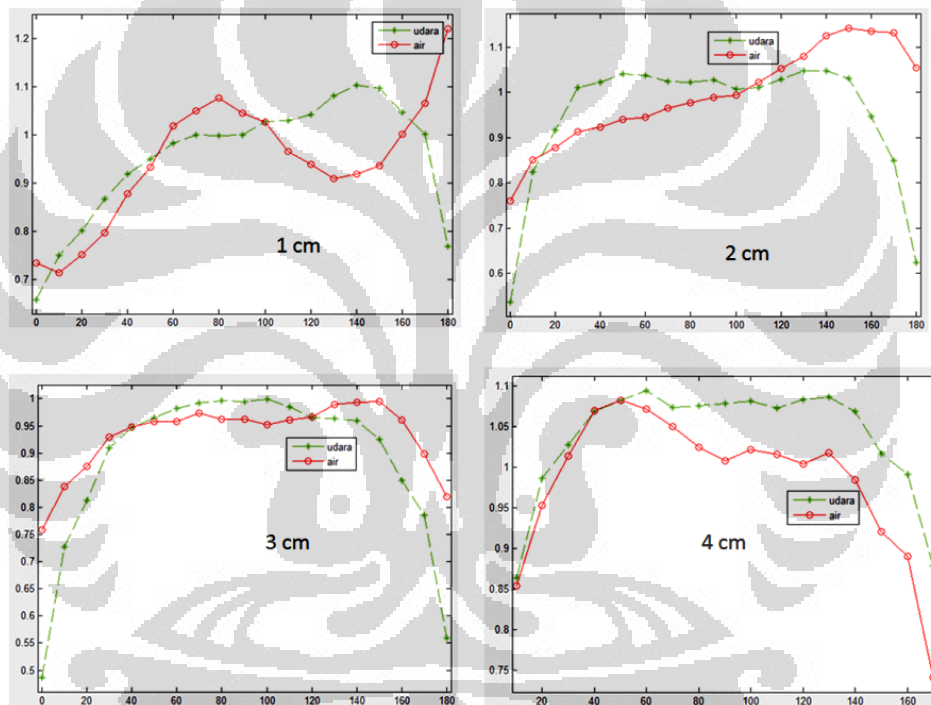
#### 4.5 Perhitungan Fungsi Anisotropi $F(r,\theta)$

Nilai fungsi anisotropi  $F(r,\theta)$  bisa didapat setelah nilai fungsi dosis radial  $g(r)$  dimana keduanya merupakan faktor koreksi secara eksperimen. Pada persamaan (2.7) dijelaskan untuk mendapatkan nilai distribusi dosis, selain nilai kuat kerma dan konstanta laju dosis diperlukan suatu faktor koreksi baik secara teori yaitu geometri maupun secara eksperimen yaitu  $g(r)$  dan  $F(r,\theta)$ .



Gambar 4.13 fungsi anisotropi sumber di tengah film pada media air dan udara pada jarak 1cm, 2cm, 3 cm dan 4 cm

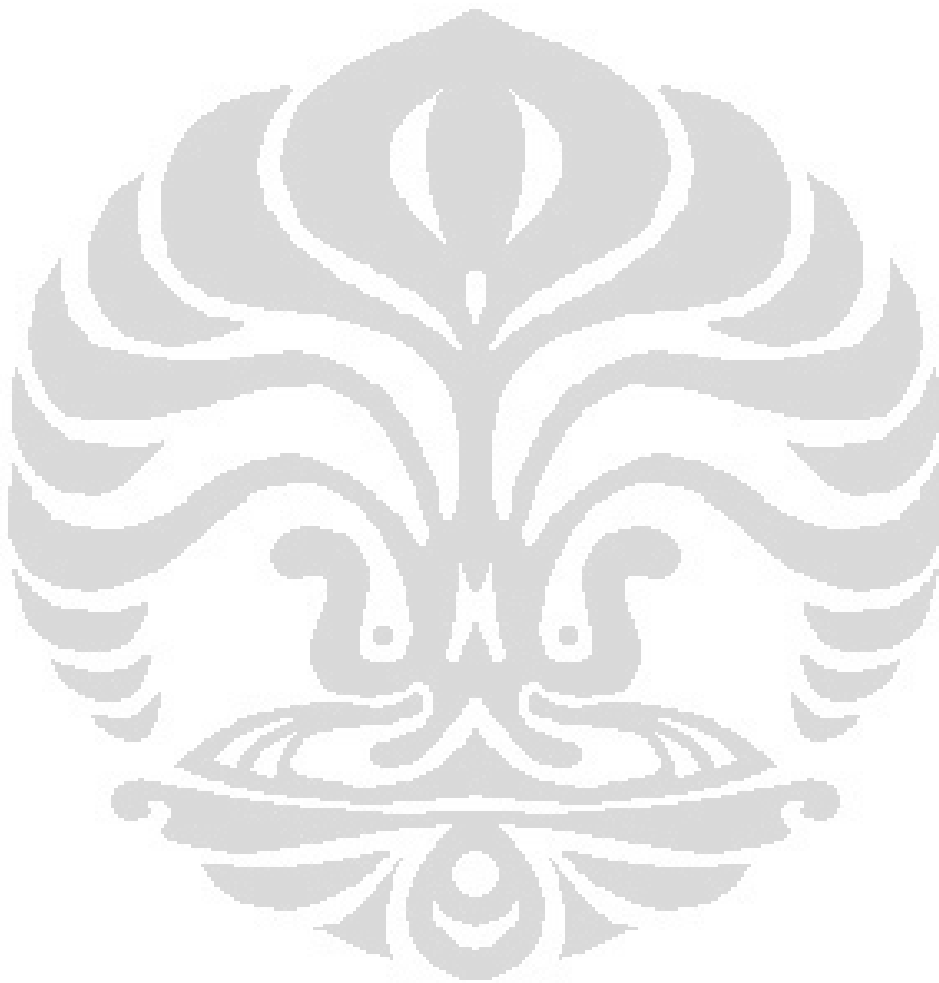
Hasil eksperimen untuk sumber di tengah film pada medium air dan udara seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.13 menunjukkan secara umum efek serap maupun hamburan  $F(r,\theta)$  bernilai paling tinggi pada sumbu radial, hal ini sesuai dengan teori faktor geometri. Dimensi sumber Ir-192 LDR yang memiliki panjang aktif 1 cm memperlihatkan nilai  $F(r,\theta)$  baru bisa mendekati ideal sumber berdimensi titik pada posisi semakin jauh dari sumber yaitu jarak 2 cm dari sumber. Hal ini juga berkaitan dengan geometri dimana untuk sudut perspektif tertentu sumber yang memiliki dimensi garis akan terlihat semakin kecil mendekati bentuk titik.



**Gambar 4.14** fungsi anisotropi sumber di samping film pada media air dan udara pada jarak 1cm, 2cm, 3 cm dan 4 cm

Pada gambar 4.14 perbandingan nilai  $F(r,\theta)$  pada medium air dan udara untuk sumber yang diposisikan di samping film menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Perbedaan nilai  $F(r,\theta)$  untuk posisi jarak dekat dengan sumber seperti 1 cm merupakan murni dari hasil eksperimen. Pada jarak yang semakin jauh nilai  $F(r,\theta)$  dianggap ideal jika sesuai dengan koreksi geometrinya. Pada jarak 2cm dan 3cm nilai  $F(r,\theta)$  memenuhi koreksi secara geometri namun terjadi

perbedaan pada jarak 4cm dimana seharusnya nilai  $F(r,\theta)$  di kedua medium semakin seragam. Hal ini dikarenakan faktor kesulitan untuk menentukan sumbu tegak lurus sumber seperti yang terlihat pada gambar 4.1 (b) di media air. Pada gambar tersebut terlihat berkas radiasi sumber yang memiliki energy besar tidak tertangkap oleh film. Perbedaan tersebut masi bisa di toleransi dengan bukti nilai  $g(r)$  yang relative sama.





## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dengan melihat data hasil pengukuran dan perhitungan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai persentase distribusi dosis di medium air dan udara pada sumbu horizontal dan vertikal turun secara signifikan pada range 0 s.d 1 cm dari pusat sumber radionuklida.
2. Pengukuran pada posisi sumber di tengah film dan samping film mempengaruhi nilai  $g(r)$  terhadap jarak. Pada posisi sumber di tengah film, perbedaan nilai  $g(r)$  pada medium air dan udara semakin besar pada jarak semakin jauh dari sumber akibat faktor geometri yang diabaikan. Pada posisi sumber disamping film perbedaan nilai  $g(r)$  pada medium air dan udara semakin kecil pada jarak semakin jauh dari sumber akibat variasi energi yang besar di dekat sumber.
3. Medium air dan udara mempengaruhi faktor koreksi fungsi dosis radial  $g(r)$  sejauh 40 mm pada pengukuran sumber disamping film.
4. Perbedaan nilai  $F(r,\theta)$  pada medium air dan udara semakin kecil untuk jarak yang semakin jauh dari sumber radionuklida.
5. Film Gafchromic EBT 2 cocok untuk melihat distribusi dosis sumber radionuklida.

## 5.2 Saran

Data hasil pengukuran dan perhitungan penelitian ini masih banyak kekuarangan, untuk itu diperlukan beberapa tindak lanjut penelitian sebagai upaya pengembangan ilmu pengetahuan yang dapat dapat langsung diaplikasikan dalam bidang terapi medis sehingga manfaatnya bisa dinikmati oleh semua orang. Hal-hal yang perlu dikaji lagi untuk membuat hasil penelitian ini lebih baik lagi antara lain:

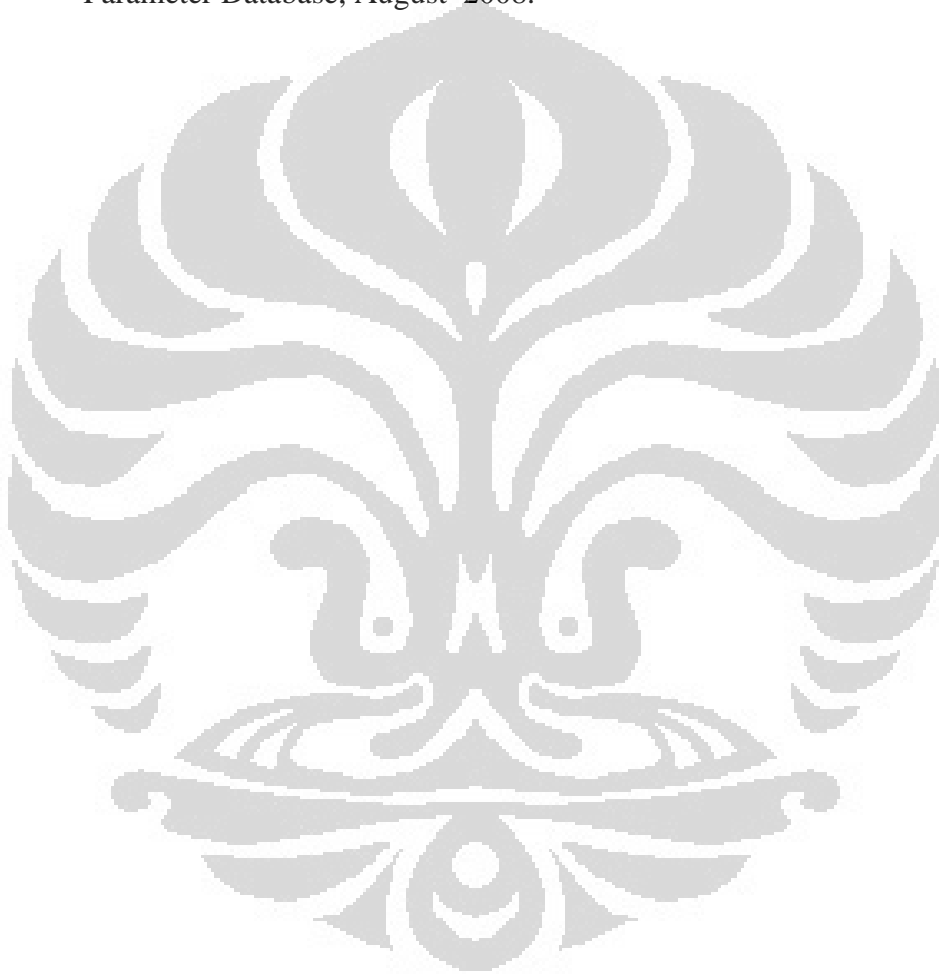
1. Perlu dibuat sampel sumber sejenis yang lebih banyak lagi agar bisa dilakukan pengambilan data yang lebih banyak sehingga hasil penelitian lebih berlaku umum untuk sumber Ir- 192 LDR PRR BATAN Serpong.
2. Perlu dilakukannya pengawasan perlakuan pengambilan data terutama dari segi keakuratan waktu dan pengaruh lingkungan seperti temperature maupun tekanan.
3. Perlu dilakukannya simulasi pemrograman untuk melihat seberapa jauh perbedaan antara data hasil percobaan terhadap data hasil simulasi dengan pemrograman.

## DAFTAR PUSTAKA

1. AAPM Rep 21. Specification of brachytherapy source strength, Juni (1987)
2. Nasukha. Dosimetri Klinik, Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Jakarta. Cermin Dunia Kedokteran No. 118, 1997.
3. Sunthralingan. N, Podgorsak E.B, Tolli. H, " Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, 2003.
4. McCullough and Holmes, Med. Phys., 12:237-242, 1985.
5. Rivard et al, Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations, Med. Phys Vol 31. 2004
6. IAEA , 2002, Calibrations Using Well Type Ionization Chambers, IAEA TECDOC-1274, 7, 27-31.
7. Johns HE, Cunningham JR. The Physics of Radiology. Charles C Thomas Pub, Illinois, 1983.
8. ISP, International Specialty Products 1361 ALPS ROAD, Wayne, NJ 074740 Gafchromic® EBT Self-Developing Film For Radiotherapy Dosimetry, August 2007.
9. Meigooni A.S., Recent development in brachytherapy source dosimetry, invited review, Iran. J. radat. Res., 2004; 2 (3): 97-105.
10. Gabriel J.F, Fisika Kedokteran. EGC. Jakarta. 1996.
11. Kurniawan Harry, Kalibrasi Film Gafchromic Tipe EBT 2 dengan Menggunakan Sumber Cobalt-60 dan Linier Accelerator. Skripsi S-1 ekstensi Fisika Medis, Universitas Indonesia, 2009
12. Fadli Muhammad, Distribusi Dosis dan Fungsi Dosis Radial Iridium-192 HDR Brakiterapi Pada Medium Air dan Udara dengan Menggunakan Film afchromic EBT 2. Skripsi S-1 Reguler Fisika Medis, Universitas Indonesia, 2010.
13. Aisah Siti, Penentuan Karakteristik Kuat Kerma dan Konstanta Laju Dosis Sumber Ir-192 mHDR Menggunakan Metode Monte Carlo dan

Eksperiment. Skripsi S-1 Reguler Fisika Medis, Universitas Indonesia, 2010

14. D. Milvita, H. Prasetio, Nasukha dan R.W Adi, Dosimetri Sumber Ir-192 Bentuk Singlepin Dengan Metode Monte Carlo, FMIPA Universitas Andalas, P3 KRBIN BATAN, FMIPA Universitas Indonesia. Jurnal Biofisika.,2(1): 12-21,2006.
15. R. E. P. Taylor and D. W. O. Rogers, Carleton, The CLRP TG-43 Parameter Database, August 2008.



## LAMPIRAN 1

### Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Horizontal Sumber di Tengah Film

r=mm	dosis (cGy)		Perbedaan ( $\pm$ %)	Anomali
	Medium Udara	Medium Air		
-47.414	77.445	67.026	15.546	
-47.075	79.588	68.901	15.510	
-46.736	82.670	72.311	14.325	
-46.398	84.216	71.191	18.295	
-46.059	83.114	74.688	11.281	
-45.720	81.897	73.505	11.416	
-45.382	83.576	75.709	10.391	
-45.043	85.891	76.575	12.165	
-44.704	85.426	77.455	10.291	
-44.366	84.837	74.565	13.775	
-44.027	84.837	74.792	13.430	
-43.688	84.044	73.119	14.942	
-43.350	84.065	79.021	6.383	
-43.011	84.194	70.787	18.941	
-42.672	87.023	73.343	18.652	
-42.334	94.796	78.633	20.554	
-41.995	99.431	74.004	34.360	
-41.656	105.524	75.018	40.665	
-41.318	121.278	79.227	53.076	
-40.979	135.293	82.634	63.726	
-40.640	133.336	75.878	75.725	
-40.302	114.213	78.920	44.720	
-39.963	94.940	77.965	21.772	
-39.624	91.314	78.657	16.091	
-39.286	98.881	77.856	27.006	
-38.947	100.900	79.141	27.494	
-38.608	97.371	77.698	25.320	
-38.270	105.686	80.627	31.080	
-37.931	113.407	82.455	37.539	
-37.592	107.158	85.404	25.472	
-37.254	105.261	85.902	22.535	
-36.915	108.903	81.962	32.869	
-36.576	108.464	83.544	29.828	
-36.238	107.529	81.173	32.468	

-35.899	109.281	87.414	25.016	
-35.560	111.081	84.743	31.080	
-35.222	109.554	91.398	19.865	
-34.883	109.512	86.259	26.957	
-34.544	112.671	90.194	24.921	
-34.206	113.060	88.863	27.231	
-33.867	113.821	87.742	29.722	
-33.528	115.089	90.180	27.621	
-33.190	115.397	89.655	28.713	
-32.851	121.868	93.120	30.872	
-32.512	128.157	99.018	29.428	
-32.174	123.783	87.462	41.528	
-31.835	119.066	96.575	23.289	
-31.496	125.021	99.542	25.596	
-31.158	131.893	109.481	20.472	
-30.819	131.870	106.470	23.857	
-30.480	133.313	112.272	18.741	
-30.142	138.111	104.018	32.775	
-29.803	139.832	117.501	19.005	
-29.464	136.108	114.301	19.079	
-29.126	135.549	111.220	21.875	
-28.787	143.607	123.212	16.553	
-28.448	153.081	125.021	22.444	
-28.110	157.791	126.160	25.073	
-27.771	157.345	127.024	23.870	
-27.432	159.151	132.324	20.274	
-27.094	160.320	139.041	15.304	
-26.755	155.888	140.308	11.104	
-26.416	161.421	144.816	11.466	
-26.078	173.606	141.548	22.648	
-25.739	176.013	152.593	15.348	
-25.400	167.717	149.701	12.035	
-25.062	163.786	148.919	9.983	
-24.723	175.091	161.458	8.444	
-24.384	187.741	154.237	21.723	
-24.046	187.062	167.109	11.940	
-23.707	193.971	167.934	15.505	
-23.368	206.707	164.026	26.021	
-23.030	202.847	179.758	12.844	
-22.691	195.095	187.884	3.838	
-22.352	208.677	188.518	10.693	
-22.014	238.868	198.018	20.630	
-21.675	240.328	207.828	15.638	

-21.336	229.100	209.206	9.509
-20.998	249.510	218.753	14.060
-20.659	283.032	251.010	12.757
-20.320	286.369	284.092	0.801
-19.982	276.774	263.297	5.118
-19.643	293.914	287.707	2.157
-19.304	305.304	305.853	0.179
-18.966	303.936	301.533	0.797
-18.627	305.755	305.567	0.062
-18.288	302.602	306.135	1.154
-17.950	298.037	301.245	1.065
-17.611	307.334	303.973	1.106
-17.272	353.319	298.045	18.545
-16.934	412.969	581.001	28.921
-16.595	398.671	353.667	12.725
-16.256	546.279	520.856	4.881
-15.917	640.808	583.850	9.756
-15.579	585.280	555.475	5.366
-15.240	508.222	509.308	0.213
-14.901	506.376	506.355	0.004
-14.563	521.768	537.577	2.941
-14.224	592.840	553.191	7.167
-13.885	618.623	591.220	4.635
-13.547	621.062	604.466	2.746
-13.208	626.084	663.016	5.570
-12.869	636.740	643.207	1.005
-12.531	696.473	730.634	4.676
-12.192	758.188	689.634	9.941
-11.853	866.693	764.860	13.314
-11.515	942.831	1010.745	6.719
-11.176	1057.567	1030.069	2.669
-10.837	1261.561	921.889	36.845
-10.499	1393.615	1241.075	12.291
-10.160	1503.962	1438.850	4.525
-9.821	1708.504	1325.028	28.941
-9.483	1889.112	1777.889	6.256
-9.144	2074.865	2003.038	3.586
-8.805	2328.206	2705.154	13.934
-8.467	2841.199	3479.255	18.339
-8.128	3928.441	2825.080	39.056
-7.789	5238.130	3336.814	56.980
-7.451	6172.269	4872.575	26.674
-7.112	7076.535	4059.885	74.304

-6.773	8363.613	4567.678	83.104	
-6.435	9500.900	5669.646	67.575	
-6.096	10278.578	8102.368	26.859	
-5.757	11359.934	7275.760	56.134	
-5.419	11939.630	8679.970	37.554	
-5.080	11570.404	8726.803	32.585	
-4.741	11472.834	9534.697	20.327	
-4.403	11730.179	9947.399	17.922	
-4.064	11780.635	11002.649	7.071	
-3.725	11854.231	11676.410	1.523	
-3.387	11985.927	11120.325	7.784	
-3.048	11898.044	11466.043	3.768	
-2.709	11688.983	11576.090	0.975	
-2.371	11677.553	11790.970	0.962	
-2.032	12027.676	9783.474	22.939	
-1.693	12551.291	9792.831	28.168	
-1.355	12402.165	10705.928	15.844	
-1.016	11420.826	11688.983	2.294	
-0.677	11178.297	11007.078	1.556	
-0.339	11835.809	11060.294	7.012	
0.000	11955.823	11316.064	5.654	
0.339	11925.760	12494.369	4.551	
0.677	12251.639	11704.995	4.670	
1.016	11851.928	10796.680	9.774	
1.355	11220.763	11634.174	3.553	
1.693	11599.988	9823.015	18.090	
2.032	12477.793	10840.563	15.103	
2.371	12984.985	11735.907	10.643	
2.709	12936.680	11536.318	12.139	
3.048	12470.693	11098.071	12.368	
3.387	12174.404	10123.373	20.260	
3.725	12106.746	9868.908	22.676	
4.064	11748.514	10204.007	15.136	
4.403	11310.446	9738.833	16.138	
4.741	10958.417	9456.960	15.877	
5.080	10022.011	7960.428	25.898	
5.419	8613.858	7026.124	22.598	
5.757	7290.804	5553.469	31.284	
6.096	6175.496	5325.238	15.967	
6.435	5411.678	5243.274	3.212	
6.773	4837.425	3975.708	21.675	
7.112	4151.534	3736.792	11.099	
7.451	3573.179	3210.126	11.310	



7.789	3122.388	2841.704	9.877	
8.128	2538.803	2681.781	5.331	
8.467	2022.004	2156.517	6.238	
8.805	1748.374	2247.380	22.204	
9.144	1466.074	2100.868	30.216	
9.483	1175.222	1829.333	35.757	
9.821	1095.218	1294.331	15.383	
10.160	1028.882	1121.216	8.235	
10.499	837.922	931.909	10.086	
10.837	778.170	1038.043	25.035	
11.176	795.723	947.784	16.044	
11.515	753.313	867.539	13.167	
11.853	717.136	778.745	7.911	
12.192	692.296	705.809	1.914	
12.531	676.663	630.577	7.309	
12.869	650.912	641.727	1.431	
13.208	632.410	687.533	8.018	
13.547	620.148	663.162	6.486	
13.885	532.852	632.531	15.759	
14.224	502.719	556.371	9.643	
14.563	505.961	592.840	14.655	
14.901	501.730	509.442	1.514	
15.240	499.318	511.597	2.400	
15.579	602.271	535.389	12.492	
15.917	600.950	561.234	7.077	
16.256	613.024	528.811	15.925	
16.595	637.556	499.980	27.516	
16.934	485.991	544.601	10.762	
17.272	328.625	627.843	47.658	
17.611	309.402	624.102	50.424	
17.950	300.665	394.193	23.726	
18.288	298.300	301.044	0.912	
18.627	299.423	323.418	7.419	
18.966	299.858	330.438	9.254	
19.304	301.459	301.906	0.148	
19.643	304.055	301.245	0.933	
19.982	305.648	302.462	1.053	
20.320	284.581	303.580	6.258	
20.659	263.455	305.293	13.704	
20.998	265.464	306.059	13.264	
21.336	270.313	303.167	10.837	
21.675	259.539	271.329	4.345	
22.014	238.633	270.313	11.720	

22.352	226.497	251.468	9.930	
22.691	234.793	259.875	9.652	
23.030	228.779	254.609	10.145	
23.368	200.480	242.405	17.295	
23.707	188.956	242.806	22.178	
24.046	192.082	202.258	5.031	
24.384	191.427	244.841	21.816	
24.723	181.534	227.841	20.325	
25.062	174.942	188.839	7.359	
25.400	171.725	195.228	12.039	
25.739	171.765	195.801	12.276	
26.078	174.040	177.975	2.211	
26.416	173.093	173.472	0.218	
26.755	171.250	171.894	0.375	
27.094	168.075	171.715	2.120	
27.432	164.874	173.791	5.131	
27.771	161.996	157.984	2.539	
28.110	156.067	164.367	5.050	
28.448	151.690	159.680	5.004	
28.787	151.515	166.150	8.808	
29.126	152.273	152.668	0.259	
29.464	147.280	155.538	5.309	
29.803	140.783	157.994	10.893	
30.142	143.029	141.942	0.766	
30.480	142.382	136.854	4.040	
30.819	135.852	136.539	0.503	
31.158	129.756	151.635	14.429	
31.496	121.482	123.269	1.450	
31.835	119.021	137.482	13.428	
32.174	126.471	127.671	0.940	
32.512	129.431	123.474	4.824	
32.851	121.913	130.870	6.844	
33.190	118.349	110.560	7.046	
33.528	120.260	112.963	6.459	
33.867	116.346	123.532	5.817	
34.206	111.573	113.147	1.391	
34.544	110.740	109.776	0.879	
34.883	110.146	116.679	5.599	
35.222	110.104	111.766	1.488	
35.560	108.068	103.463	4.451	
35.899	104.657	99.598	5.080	
36.238	102.132	105.960	3.613	
36.576	102.132	100.038	2.093	

36.915	103.641	103.089	0.536	
37.254	106.337	92.534	14.917	
37.592	106.623	89.966	18.515	
37.931	99.302	99.635	0.335	
38.270	93.353	93.188	0.178	
38.608	92.256	88.895	3.782	
38.947	93.872	99.293	5.459	
39.286	93.658	86.098	8.781	
39.624	90.717	92.162	1.568	
39.963	89.223	85.024	4.938	
40.302	90.553	88.369	2.472	
40.640	91.314	84.546	8.004	
40.979	88.570	84.307	5.056	
41.318	84.378	91.895	8.181	
41.656	82.721	88.032	6.033	
41.995	83.650	89.288	6.315	
42.334	83.851	86.533	3.099	
42.672	85.652	87.486	2.097	
43.011	88.583	86.340	2.597	
43.350	85.460	87.137	1.924	
43.688	81.586	79.713	2.349	
44.027	80.961	82.511	1.878	
44.366	81.079	85.477	5.145	
44.704	83.302	81.511	2.197	
45.043	83.386	78.600	6.089	
45.382	80.451	79.742	0.889	
45.720	80.091	75.689	5.815	
46.059		82.588		
46.398		80.427		
46.736		75.466		
47.075		81.327		
47.414		78.633		
47.752		76.470		
48.091		77.455		
48.430		75.374		
48.768		71.093		
49.107		69.136		
49.446		75.641		
49.784		73.627		
50.123		73.778		
50.462		75.495		
50.801		70.869		
51.139		68.491		

51.478		70.141		
51.817		68.996		
52.155		67.565		
52.494		65.446		
52.833		65.966		
53.171		66.359		
53.510		60.476		
53.849		68.966		
54.187		51.879		
54.526		62.059		
54.865		61.129		
55.203		62.648		
55.542		58.000		
55.881		47.153		



**Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Vertikal  
Sumber di Tengan Film**

r=mm	dosis (cGy)		Perbedaan ( $\pm$ %)	Anomali
	Medium Udara	Medium Air		
53.171		75.520		
52.833		75.101		
52.494		76.032		
52.155		81.203		
51.817		83.329		
51.478		78.438		
51.139		77.722		
50.801		80.715		
50.462		84.097		
50.123		81.801		
49.784		82.327		
49.446		92.010		
49.107		99.524		
48.768		93.346		
48.430		89.373		
48.091		92.126		
47.752		93.711		
47.414		90.924		
47.075		96.711		
46.736		97.624		
46.398		103.869		
46.059		93.135		
45.720		98.627		
45.382		101.005		
45.043		113.516		
44.704		103.434		
44.366		97.606		
44.027	145.815	101.735	43.329	
43.688	147.212	99.589	47.820	
43.350	144.943	115.706	25.268	
43.011	150.074	121.278	23.744	
42.672	157.150	122.892	27.876	
42.334	154.616	123.166	25.535	
41.995	151.690	122.573	23.754	
41.656	155.347	124.516	24.760	
41.318	157.248	122.129	28.755	

40.979	157.520	122.277	28.822	
40.640	161.755	123.326	31.160	
40.302	164.560	123.715	33.016	
39.963	158.865	128.944	23.205	
39.624	155.205	142.301	9.068	
39.286	159.850	131.602	21.464	
38.947	163.491	134.303	21.733	
38.608	162.809	132.743	22.650	
38.270	162.162	144.010	12.605	
37.931	161.290	148.692	8.473	
37.592	160.264	143.006	12.068	
37.254	166.224	151.000	10.083	
36.915	175.754	147.109	19.472	
36.576	181.682	157.316	15.489	
36.238	178.834	154.432	15.801	
35.899	172.204	154.072	11.769	
35.560	170.818	154.196	10.780	
35.222	171.211	159.302	7.475	
34.883	173.999	158.885	9.513	
34.544	184.577	168.576	9.492	
34.206	192.746	182.381	5.683	
33.867	188.986	179.984	5.002	
33.528	186.254	177.256	5.077	
33.190	188.142	172.677	8.956	
32.851	190.205	179.960	5.693	
32.512	192.208	171.270	12.225	
32.174	195.598	193.033	1.329	
31.835	199.708	197.193	1.276	
31.496	205.638	205.382	0.124	
31.158	213.357	203.325	4.934	
30.819	218.557	216.279	1.053	
30.480	222.846	209.451	6.395	
30.142	227.682	213.441	6.672	
29.803	229.513	226.588	1.291	
29.464	235.680	216.732	8.743	
29.126	247.092	213.695	15.628	
28.787	246.570	226.566	8.830	
28.448	244.155	249.036	1.960	
28.110	263.508	217.815	20.978	
27.771	282.044	240.941	17.059	
27.432	285.657	259.152	10.228	
27.094	289.328	274.296	5.480	
26.755	283.550	280.841	0.965	

26.416	286.977	269.912	6.322
26.078	305.595	305.115	0.157
25.739	303.600	290.558	4.489
25.400	301.393	301.467	0.025
25.062	300.497	298.186	0.775
24.723	299.608	216.300	38.515
24.384	298.095	298.186	0.030
24.046	299.354	300.630	0.424
23.707	302.324	300.575	0.582
23.368	306.190	298.587	2.546
23.030	324.881	309.647	4.920
22.691	335.384	298.016	12.539
22.352	337.045	324.881	3.744
22.014	444.614	324.422	37.048
21.675	630.874	437.242	44.285
21.336	638.075	353.411	80.548
20.998	638.053	353.584	80.453
20.659	624.993	550.533	13.525
20.320	622.349	624.102	0.281
19.982	585.993	637.051	8.015
19.643	533.994	635.416	15.961
19.304	503.528	539.534	6.673
18.966	502.377	532.202	5.604
18.627	505.838	624.752	19.034
18.288	509.874	521.011	2.137
17.950	522.130	507.377	2.908
17.611	538.555	510.354	5.526
17.272	538.555	507.178	6.187
16.934	558.556	614.124	9.048
16.595	616.577	560.971	9.913
16.256	630.261	573.279	9.940
15.917	634.494	634.024	0.074
15.579	641.727	622.017	3.169
15.240	641.046	512.864	24.993
14.901	630.219	637.685	1.171
14.563	651.780	645.910	0.909
14.224	741.898	632.458	17.304
13.885	776.399	713.440	8.825
13.547	777.359	661.931	17.438
13.208	793.268	700.135	13.302
12.869	774.369	750.313	3.206
12.531	792.866	784.331	1.088
12.192	848.093	759.784	11.623

11.853	909.714	984.044	7.554	
11.515	1026.907	990.886	3.635	
11.176	1047.329	1096.086	4.448	
10.837	998.751	1091.541	8.501	
10.499	1082.316	1077.639	0.434	
10.160	1387.882	1320.130	5.132	
9.821	1731.493	1087.022	59.288	
9.483	1708.504	1345.922	26.939	
9.144	1664.659	1466.677	13.499	
8.805	1877.108	1692.635	10.899	
8.467	1856.989	1833.001	1.309	
8.128	1730.792	2390.848	27.608	
7.789	2025.178	2047.905	1.110	
7.451	2411.089	2380.102	1.302	
7.112	2599.152	2947.455	11.817	
6.773	2950.559	3168.229	6.870	
6.435	3423.195	2665.308	28.435	
6.096	3792.337	3263.408	16.208	
5.757	3983.203	3237.521	23.032	
5.419	4301.786	3126.147	37.607	
5.080	4591.454	4247.015	8.110	
4.741	4626.912	4716.953	1.909	
4.403	4855.684	4331.957	12.090	
4.064	5380.288	5583.147	3.633	
3.725	6106.312	6142.458	0.588	
3.387	6841.853	6543.843	4.554	
3.048	7320.942	5870.770	24.702	
2.709	7633.367	7708.946	0.980	
2.371	8287.423	6915.578	19.837	
2.032	9335.932	8114.571	15.051	
1.693	10125.491	8270.333	22.431	
1.355	10411.392	8873.052	17.337	
1.016	10819.707	8637.160	25.269	
0.677	11472.834	10563.525	8.608	
0.339	11911.898	11060.294	7.700	
0.000	11955.823	11592.019	3.138	



## LAMPIRAN 2

### Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Horizontal Sumber di Samping Film

r=mm	dosis (cGy)		Perbedaan ( $\pm$ %)	Anomali
	Medium Udara	Medium Air		
-38.270	23.181			
-37.931	11.820			
-37.592	7.237			
-37.254	7.119	12.095	41.143	
-36.915	9.975	3.692		170.192
-36.576	6.212	9.843	36.891	
-36.238	13.461	1.231		993.929
-35.899	14.917	18.531	19.502	
-35.560	24.996	12.556		99.067
-35.222	23.586	23.761	0.737	
-34.883	28.732	16.205	77.296	
-34.544	38.135	22.449	69.870	
-34.206	35.578	26.710	33.199	
-33.867	44.574	4.761		836.283
-33.528	45.676	36.518	25.080	
-33.190	40.808	37.206	9.682	
-32.851	48.029	29.823	61.051	
-32.512	49.497	49.176	0.652	
-32.174	46.565	42.759	8.901	
-31.835	52.140	45.448	14.726	
-31.496	51.437	55.941	8.050	
-31.158	54.542	46.655	16.903	
-30.819	63.070	41.260	52.858	
-30.480	68.129	59.576	14.356	
-30.142	69.160	47.040	47.023	
-29.803	65.155	62.310	4.567	
-29.464	67.940	66.443	2.254	
-29.126	71.435	68.575	4.170	
-28.787	73.858	69.363	6.480	
-28.448	74.268	70.973	4.642	
-28.110	77.879	67.806	14.857	
-27.771	80.456	62.249	29.248	
-27.432	78.099	68.467	14.067	
-27.094	80.392	71.644	12.211	
-26.755	84.782	75.354	12.511	

-26.416	88.895	77.598	14.558	
-26.078	85.213	78.318	8.804	
-25.739	84.793	79.165	7.109	
-25.400	96.064	80.256	19.697	
-25.062	97.536	89.392	9.111	
-24.723	95.294	80.627	18.191	
-24.384	94.315	85.208	10.688	
-24.046	96.677	97.554	0.899	
-23.707	111.531	88.754	25.662	
-23.368	116.335	90.519	28.520	
-23.030	113.799	93.596	21.585	
-22.691	121.572	103.919	16.988	
-22.352	129.860	101.024	28.544	
-22.014	138.797	105.372	31.721	
-21.675	141.873	105.777	34.124	
-21.336	144.425	117.590	22.821	
-20.998	144.885	126.275	14.738	
-20.659	149.248	121.959	22.376	
-20.320	154.841	145.184	6.651	
-19.982	163.980	138.297	18.571	
-19.643	162.513	144.459	12.498	
-19.304	170.272	147.485	15.450	
-18.966	168.075	150.511	11.669	
-18.627	185.462	152.262	21.804	
-18.288	196.175	173.895	12.813	
-17.950	202.107	173.165	16.713	
-17.611	221.620	197.280	12.338	
-17.272	214.331	193.988	10.487	
-16.934	230.272	206.847	11.325	
-16.595	266.021	213.526	24.585	
-16.256	302.085	226.180	33.560	
-15.917	273.441	225.274	21.382	
-15.579	304.723	248.491	22.629	
-15.240	294.312	274.296	7.297	
-14.901	299.915	300.036	0.040	
-14.563	331.310	305.093	8.593	
-14.224	353.382	298.227	18.494	
-13.885	480.948	298.524	61.109	
-13.547	482.120	299.077	61.203	
-13.208	540.758	304.375	77.662	
-12.869	508.814	300.267	69.454	
-12.531	552.864	363.986	51.891	
-12.192	509.365	638.837	20.267	

-11.853	515.143	412.072	25.013	
-11.515	628.069	615.176	2.096	
-11.176	648.646	507.737	27.752	
-10.837	731.905	516.153	41.800	
-10.499	741.046	554.180	33.719	
-10.160	777.198	628.316	23.695	
-9.821	834.232	684.193	21.929	
-9.483	1007.867	651.282	54.751	
-9.144	1178.318	731.107	61.169	
-8.805	1269.081	855.483	48.347	
-8.467	1623.113	1009.400	60.800	
-8.128	1922.056	1093.485	75.773	
-7.789	2643.611	1132.482	133.435	
-7.451	3200.301	2003.826	59.710	
-7.112	3838.601	1403.705	173.462	
-6.773	4822.706	1691.605	185.097	
-6.435	5434.914	2067.596	162.862	
-6.096	6573.060	2822.567	132.875	
-5.757	7668.829	3055.755	150.963	
-5.419	9191.608	3536.468	159.909	
-5.080	8834.645	3789.305	133.147	
-4.741	7736.365	3989.455	93.920	
-4.403	8332.139	4748.812	75.457	
-4.064	9088.408	6068.689	49.759	
-3.725	8681.919	5347.517	62.354	
-3.387	9046.508	6136.828	47.413	
-3.048	9632.350	5866.065	64.205	
-2.709	8952.120	5493.631	62.955	
-2.371	8676.073	5969.264	45.346	
-2.032	9164.495	6945.709	31.945	
-1.693	9624.106	5665.034	69.886	
-1.355	9711.894	6422.753	51.211	
-1.016	9583.970	6006.539	59.559	
-0.677	8977.899	6765.169	32.708	
-0.339	9267.151	6040.756	53.410	
0.000	8664.389	6478.164	33.748	
0.339	8704.345	5746.827	51.463	
0.677	9614.836	6115.137	57.230	
1.016	10016.747	7450.244	34.449	
1.355	9234.878	7890.898	17.032	
1.693	8351.206	6988.879	19.493	
2.032	8731.689	7241.314	20.582	
2.371	10058.903	7521.217	33.740	

2.709	9643.692	6643.477	45.160	
3.048	10126.550	6659.463	52.063	
3.387	9088.408	7793.200	16.620	
3.725	8552.853	6931.065	23.399	
4.064	8778.673	5656.584	55.194	
4.403	8822.845	5719.746	54.252	
4.741	7751.010	5504.964	40.800	
5.080	7060.869	5111.916	38.126	
5.419	5021.112	4692.107	7.012	
5.757	4010.129	3653.827	9.751	
6.096	3770.542	3188.861	18.241	
6.435	3087.090	3259.544	5.291	
6.773	2379.655	2335.255	1.901	
7.112	1937.354	1588.973	21.925	
7.451	1438.554	1838.515	21.755	
7.789	1111.868	1366.033	18.606	
8.128	1147.581	888.484	29.162	
8.467	966.850	1043.074	7.308	
8.805	814.776	756.162	7.752	
9.144	763.839	704.897	8.362	
9.483	730.816	714.394	2.299	
9.821	728.161	712.151	2.248	
10.160	617.301	573.279	7.679	
10.499	604.164	508.663	18.775	
10.837	599.951	513.602	16.812	
11.176	508.579	500.429	1.629	
11.515	505.361	612.833	17.537	
11.853	590.704	538.033	9.790	
12.192	640.809	592.237	8.201	
12.531	352.305	299.141	17.772	
12.869	360.038	298.503	20.615	
13.208	318.273	305.908	4.042	
13.547	303.707	305.595	0.618	
13.885	301.352	305.929	1.496	
14.224	306.066	258.098	18.585	
14.563	305.485	266.260	14.732	
14.901	282.174	236.944	19.089	
15.240	273.895	264.987	3.362	
15.579	283.058	203.960	38.781	
15.917	234.047	200.093	16.969	
16.256	225.590	185.259	21.770	
16.595	210.932	182.306	15.702	
16.934	209.084	171.725	21.755	

17.272	188.171	165.937	13.399	
17.611	190.812	165.021	15.629	
17.950	174.311	151.657	14.938	
18.288	162.726	159.765	1.853	
18.627	160.292	159.170	0.705	
18.966	160.339	153.134	4.705	
19.304	162.523	146.789	10.719	
19.643	155.628	122.448	27.097	
19.982	139.460	127.197	9.640	
20.320	143.710	128.377	11.944	
20.659	145.115	128.353	13.059	
20.998	134.606	121.278	10.990	
21.336	120.678	115.651	4.347	
21.675	118.920	104.028	14.315	
22.014	118.383	105.645	12.057	
22.352	112.304	105.524	6.425	
22.691	107.426	103.424	3.870	
23.030	101.513	97.449	4.170	
23.368	96.407	105.595	8.701	
23.707	89.113	92.881	4.057	
24.046	91.589	86.881	5.419	
24.384	94.756	88.933	6.548	
24.723	89.734	85.794	4.592	
25.062	84.454	85.336	1.034	
25.400	81.491	82.526	1.254	
25.739	83.555	80.946	3.222	
26.078	90.751	85.533	6.101	
26.416	85.857	73.521	16.779	
26.755	80.495	80.004	0.614	
27.094	74.313	77.068	3.576	
27.432	73.511	75.120	2.143	
27.771	73.591	74.313	0.970	
28.110	72.913	76.336	4.483	
28.448	65.311	72.681	10.140	
28.787	54.561	72.846	25.101	
29.126	57.059	68.269	16.420	
29.464	55.395	70.219	21.111	
29.803	58.828	70.281	16.296	
30.142	58.434	66.892	12.645	
30.480	53.396	59.676	10.523	
30.819	53.845	67.614	20.365	
31.158	48.532	60.412	19.665	
31.496	54.473	61.396	11.275	

31.835	44.873	54.229	17.253	
32.174	48.943	57.023	14.169	
32.512	49.087	52.254	6.060	
32.851	56.968	60.693	6.137	
33.190	49.794	58.563	14.973	
33.528	24.487	51.448	52.404	
33.867	29.421	34.718	15.258	
34.206	23.343	34.381	32.103	
34.544	24.031	39.394	39.000	
34.883	26.803	43.960	39.030	
35.222	24.782	41.486	40.264	
35.560	19.405	41.237	52.942	
35.899	17.204	43.693	60.625	
36.238	13.662	28.679	52.363	
36.576	16.304	29.395	44.534	
36.915	7.223	47.581	84.820	



**Perbandingan Nilai Dosis Pada Sumbu Vertikal  
Sumber di Samping Film**

r=mm	dosis (cGy)		Perbedaan ( $\pm$ %)	Anomali
	Medium Udara	Medium Air		
55.203		5.749		
54.865		1.917		
54.526		10.994		
54.187		15.810		
53.849	0.557	10.354	94.622	
53.510	0.434	7.504	94.215	
53.171	5.345	13.848	61.399	
52.833	8.758	18.892	53.642	
52.494	3.993	15.244	73.803	
52.155	2.404	11.603	79.281	
51.817	2.844	15.045	81.094	
51.478	16.318	17.134	4.760	
51.139	26.406	27.855	5.204	
50.801	29.602	34.893	15.163	
50.462	16.600	30.532	45.632	
50.123	15.400	23.519	34.522	
49.784	21.837	19.999	9.188	
49.446	16.234	11.372	42.756	
49.107	20.701	16.149	28.188	
48.768	18.656	28.275	34.018	
48.430	24.017	29.576	18.797	
48.091	31.482	28.013	12.385	
47.752	29.564	32.983	10.368	
47.414	26.604	37.120	28.329	
47.075	35.192	37.047	5.006	
46.736	28.314	33.816	16.271	
46.398	45.023	33.337	35.054	
46.059	41.201	34.368	19.882	
45.720	39.707	38.122	4.157	
45.382	43.751	43.320	0.995	
45.043	55.462	44.781	23.850	
44.704	43.332	39.479	9.760	
44.366	40.007	32.958	21.389	
44.027	46.712	37.879	23.320	
43.688	53.446	41.935	27.450	
43.350	48.521	47.783	1.544	
43.011	54.473	46.859	16.249	

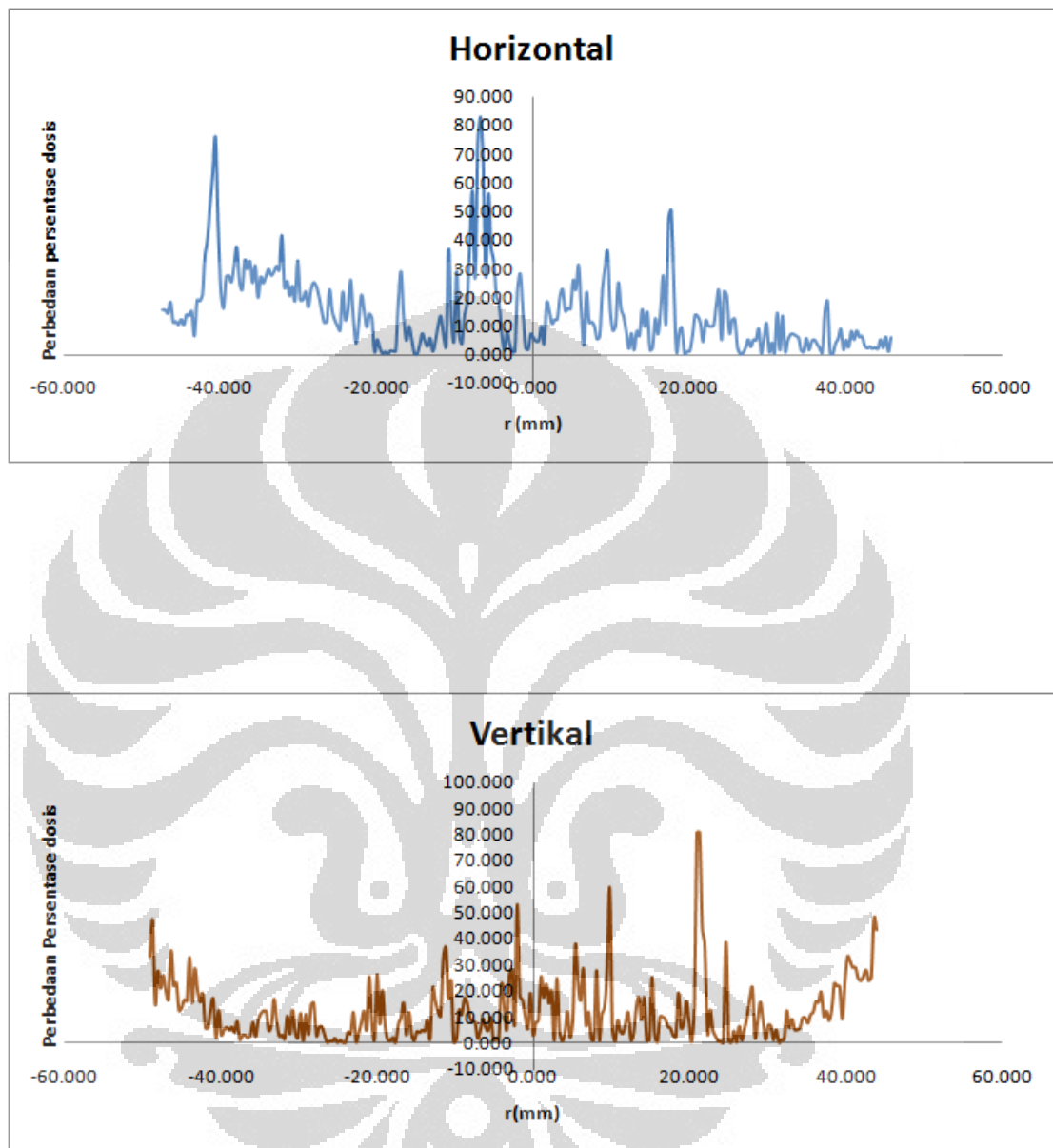
42.672	44.965	45.814	1.851	
42.334	52.254	52.223	0.060	
41.995	56.108	56.127	0.033	
41.656	63.507	54.609	16.293	
41.318	65.305	55.377	17.928	
40.979	63.945	55.205	15.831	
40.640	63.551	51.722	22.869	
40.302	67.707	53.944	25.514	
39.963	60.242	59.318	1.557	
39.624	72.075	60.789	18.566	
39.286	67.328	61.419	9.620	
38.947	67.340	62.415	7.891	
38.608	73.021	63.651	14.721	
38.270	73.272	66.124	10.810	
37.931	74.841	67.177	11.408	
37.592	73.551	67.849	8.405	
37.254	74.807	69.340	7.884	
36.915	82.215	70.186	17.140	
36.576	82.271	69.571	18.255	
36.238	80.500	71.719	12.243	
35.899	81.129	74.079	9.517	
35.560	79.112	76.066	4.004	
35.222	82.114	75.379	8.935	
34.883	84.590	74.762	13.145	
34.544	87.914	76.997	14.180	
34.206	88.162	80.227	9.891	
33.867	87.383	81.277	7.512	
33.528	85.914	78.409	9.571	
33.190	89.425	79.040	13.139	
32.851	91.610	82.516	11.021	
32.512	93.749	85.002	10.290	
32.174	99.440	83.052	19.733	
31.835	98.899	80.853	22.320	
31.496	98.881	83.167	18.895	
31.158	104.667	87.191	20.044	
30.819	109.734	88.144	24.494	
30.480	113.028	89.986	25.606	
30.142	113.614	97.129	16.972	
29.803	120.587	100.671	19.783	
29.464	120.485	96.533	24.813	
29.126	119.268	94.245	26.552	
28.787	127.440	96.804	31.647	
28.448	140.435	97.545	43.970	



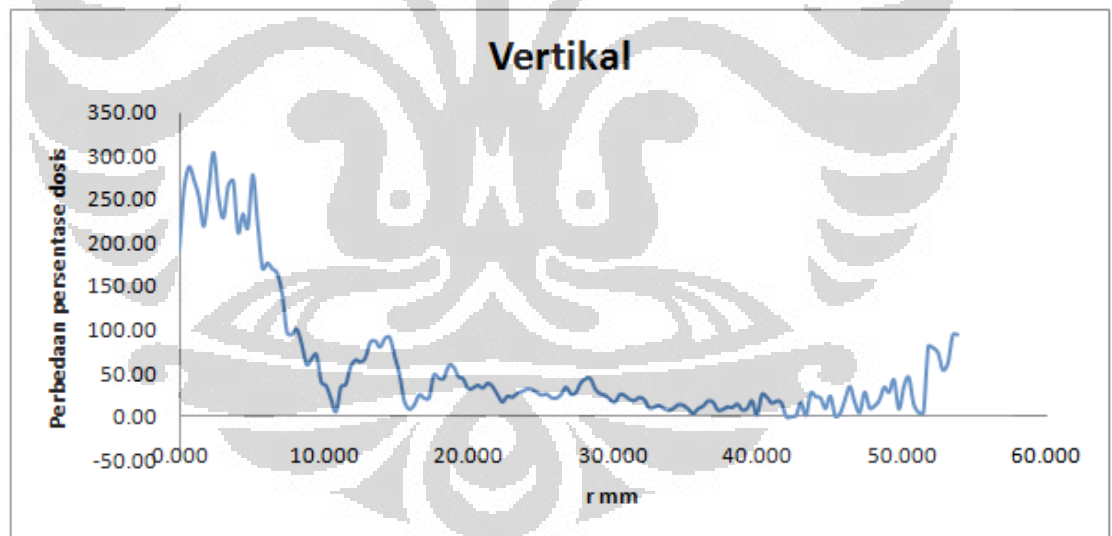
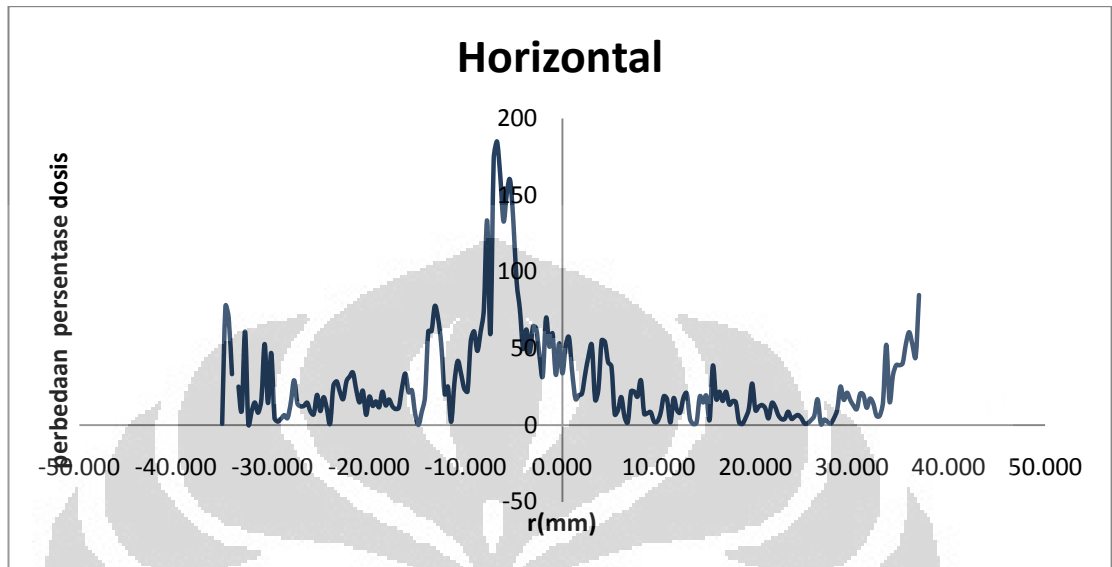
28.110	142.266	98.972	43.744	
27.771	143.399	103.128	39.049	
27.432	137.867	107.902	27.770	
27.094	137.308	108.903	26.083	
26.755	144.194	107.508	34.124	
26.416	140.841	111.960	25.796	
26.078	151.308	124.700	21.338	
25.739	156.315	128.087	22.038	
25.400	157.238	124.608	26.186	
25.062	157.975	126.494	24.887	
24.723	157.394	122.687	28.289	
24.384	160.019	121.890	31.281	
24.046	167.792	127.232	31.879	
23.707	172.536	133.849	28.904	
23.368	181.521	142.960	26.974	
23.030	179.300	146.343	22.521	
22.691	187.343	151.472	23.682	
22.352	183.297	156.522	17.106	
22.014	195.649	156.067	25.362	
21.675	211.492	156.798	34.882	
21.336	220.137	158.770	38.651	
20.998	211.472	158.656	33.290	
20.659	223.922	164.192	36.378	
20.320	231.495	173.626	33.330	
19.982	241.224	182.356	32.282	
19.643	261.801	182.280	43.626	
19.304	262.194	179.206	46.309	
18.966	283.989	179.865	57.890	
18.627	301.316	190.690	58.014	
18.288	305.212	211.222	44.498	
17.950	306.124	211.430	44.788	
17.611	305.825	206.349	48.207	
17.272	298.690	245.670	21.582	
16.934	301.270	247.613	21.670	
16.595	302.979	241.885	25.258	
16.256	299.207	263.508	13.548	
15.917	309.616	284.376	8.876	
15.579	314.422	268.497	17.105	
15.240	384.551	259.281	48.314	
14.901	517.980	305.077	69.787	
14.563	578.321	302.072	91.451	
14.224	581.335	305.293	90.419	
13.885	551.683	305.692	80.471	

13.547	562.804	299.973	87.618	
13.208	554.523	298.553	85.737	
12.869	506.791	301.923	67.854	
12.531	508.137	311.185	63.291	
12.192	528.000	319.326	65.349	
11.853	559.298	353.946	58.018	
11.515	635.394	462.742	37.311	
11.176	641.088	477.400	34.287	
10.837	660.006	622.277	6.063	
10.499	703.655	583.372	20.618	
10.160	703.085	517.104	35.966	
9.821	755.471	538.981	40.167	
9.483	895.130	521.310	71.708	
9.144	840.495	504.452	66.616	
8.805	813.146	507.288	60.293	
8.467	938.432	511.128	83.600	
8.128	1050.385	522.560	101.007	
7.789	1042.670	535.490	94.713	
7.451	1184.299	600.701	97.153	
7.112	1572.466	649.344	142.162	
6.773	1765.037	665.140	165.363	
6.435	1710.583	632.266	170.548	
6.096	1885.730	680.051	177.292	
5.757	2022.400	746.640	170.867	
5.419	2475.750	767.304	222.656	
5.080	3042.012	803.056	278.804	
4.741	3102.033	975.833	217.886	
4.403	3344.660	1002.153	233.747	
4.064	3603.658	1153.136	212.509	
3.725	4209.441	1132.029	271.849	
3.387	4647.442	1267.261	266.731	
3.048	5276.414	1602.683	229.224	
2.709	6047.134	1714.053	252.797	
2.371	6528.013	1613.199	304.663	
2.032	6935.370	1918.627	261.476	
1.693	7383.207	2309.775	219.650	
1.355	7749.179	2193.797	253.231	
1.016	8807.126	2362.713	272.755	
0.677	9289.373	2393.091	288.175	
0.339	8979.884	2464.737	264.334	
0.000	8664.389	2959.881	192.728	

**Kurva nilai peredaan relatif persentase distribusi dosis ( $\pm$  %) pada medium Udara dan Air posisi sumber di tengah film**



**Kurva nilai peredaan relatif persentase distribusi dosis ( $\pm$  %) pada medium Udara dan Air posisi sumber di samping film**



### LAMPIRAN 3

#### Dosis pada medium Udara dan Air Sumber di tengah Film

r = 1 cm			r = 1.5 cm			r = 2 cm		
$\theta$	D(r, $\theta$ ) cGy		$\theta$	D(r, $\theta$ ) cGy		$\theta$	D(r, $\theta$ ) cGy	
	Udara	Air		Udara	Air		Udara	Air
0.00	822.48	1335.77	0.00	513.78	556.67	0.00	298.74	298.58
10.00	784.04	1911.71	10.00	507.94	616.11	10.00	307.27	340.26
20.00	754.54	1685.38	20.00	515.55	634.73	20.00	312.48	515.73
30.00	705.53	1563.67	30.00	531.21	625.73	30.00	300.78	551.07
40.00	693.22	1643.59	40.00	582.26	644.67	40.00	299.68	597.27
50.00	665.60	1496.31	50.00	590.49	622.20	50.00	300.93	572.68
60.00	634.53	1412.19	60.00	593.87	627.90	60.00	300.82	609.43
70.00	627.08	1184.02	70.00	639.03	671.31	70.00	300.37	590.01
80.00	657.67	1293.49	80.00	633.71	620.27	80.00	301.69	501.47
90.00	638.40	1226.89	90.00	621.56	587.76	90.00	300.21	634.46
100.00	619.78	1221.14	100.00	601.84	609.23	100.00	339.34	552.16
110.00	639.04	1318.58	110.00	598.22	636.09	110.00	298.57	572.21
120.00	660.95	1336.83	120.00	585.96	636.22	120.00	300.95	511.91
130.00	706.34	1571.05	130.00	511.18	636.67	130.00	300.56	592.90
140.00	684.74	1287.70	140.00	506.55	665.62	140.00	336.82	588.88
150.00	811.58	1426.38	150.00	527.99	649.83	150.00	333.59	582.25
160.00	976.90	1531.77	160.00	534.41	621.75	160.00	318.98	354.65
170.00	916.06	1507.86	170.00	557.57	533.91	170.00	463.71	300.12
180.00	1425.14	1263.04	180.00	614.14	543.34	180.00	343.67	264.25

$r = 2.5 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	223.43	199.70
10.00	258.39	267.82
20.00	259.09	275.62
30.00	244.05	298.55
40.00	244.94	298.60
50.00	256.82	298.17
60.00	236.52	287.99
70.00	233.95	301.07
80.00	243.23	304.48
90.00	252.15	298.19
100.00	227.67	302.38
110.00	248.37	301.57
120.00	266.74	305.18
130.00	262.44	301.31
140.00	263.82	291.26
150.00	299.61	275.04
160.00	300.06	265.96
170.00	295.93	200.88
180.00	261.57	150.86

$r = 3 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	165.72	150.75
10.00	175.16	167.46
20.00	187.29	187.13
30.00	187.90	193.47
40.00	186.43	199.93
50.00	179.44	210.94
60.00	192.11	202.46
70.00	177.34	212.13
80.00	185.80	211.31
90.00	187.61	218.70
100.00	191.16	196.40
110.00	183.81	204.05
120.00	186.52	206.30
130.00	191.99	190.72
140.00	204.66	196.40
150.00	210.53	183.81
160.00	204.00	170.99
170.00	202.93	159.44
180.00	177.31	107.08

$r = 3.5 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	134.51	111.17
10.00	152.26	124.70
20.00	156.03	148.23
30.00	152.81	150.28
40.00	152.24	158.21
50.00	153.56	157.66
60.00	153.19	154.94
70.00	158.59	166.00
80.00	159.03	160.63
90.00	158.90	159.05
100.00	165.60	168.95
110.00	158.29	155.95
120.00	158.79	150.43
130.00	161.78	155.72
140.00	162.92	150.80
150.00	159.25	153.02
160.00	166.26	143.64
170.00	164.72	122.60
180.00	149.33	83.51

$r = 4 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	108.53	93.41
10.00	120.58	106.18
20.00	133.47	105.48
30.00	130.68	123.54
40.00	126.71	126.50
50.00	130.43	126.93
60.00	133.79	123.74
70.00	135.60	128.47
80.00	136.90	123.94
90.00	133.07	127.90
100.00	136.68	129.88
110.00	141.12	140.66
120.00	129.61	120.88
130.00	139.86	120.42
140.00	130.54	115.49
150.00	136.81	115.75
160.00	139.14	110.22
170.00	129.79	99.15
180.00	116.99	78.28

### Dosis pada medium Udara dan Air Sumber di samping Film

$r = 1 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	683.82	656.60
10.00	799.08	741.84
20.00	794.61	734.40
30.00	774.71	767.45
40.00	784.32	725.16
50.00	796.93	720.17
60.00	806.08	694.20
70.00	721.96	633.00
80.00	734.71	652.42
90.00	724.04	640.01
100.00	711.84	637.02
110.00	778.91	634.62
120.00	857.69	655.92
130.00	823.64	616.65
140.00	914.34	687.80
150.00	1075.57	740.01
160.00	1129.89	669.62
170.00	1103.90	660.89
180.00	800.01	650.67

$r = 1.5 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	280.52	242.55
10.00	336.65	298.50
20.00	511.53	398.95
30.00	631.92	372.01
40.00	585.36	497.88
50.00	470.84	415.75
60.00	532.42	330.51
70.00	530.23	363.85
80.00	401.75	478.23
90.00	464.61	337.60
100.00	390.96	316.41
110.00	442.86	306.74
120.00	611.02	341.04
130.00	624.07	312.38
140.00	572.04	314.71
150.00	544.21	404.22
160.00	561.34	320.34
170.00	584.35	303.30
180.00	297.67	289.74

$r = 2 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	139.46	127.20
10.00	246.50	198.17
20.00	253.67	236.08
30.00	266.25	257.61
40.00	267.00	245.38
50.00	250.23	256.14
60.00	245.47	254.72
70.00	259.80	231.83
80.00	246.28	259.01
90.00	239.28	238.13
100.00	240.47	236.66
110.00	249.02	233.94
120.00	237.32	241.29
130.00	258.64	216.76
140.00	275.25	208.71
150.00	278.07	221.48
160.00	265.70	192.97
170.00	231.72	177.89
180.00	162.15	139.67

$r = 2.5 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	85.51	85.43
10.00	146.76	133.23
20.00	160.52	151.44
30.00	161.95	165.52
40.00	163.02	170.45
50.00	162.69	163.37
60.00	163.14	165.94
70.00	161.32	160.83
80.00	164.23	149.45
90.00	157.97	154.28
100.00	168.46	154.14
110.00	161.27	154.67
120.00	163.30	140.77
130.00	159.74	154.06
140.00	161.64	150.62
150.00	159.53	140.89
160.00	161.69	134.31
170.00	150.00	116.57
180.00	97.54	89.39

$r = 3 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	58.67	68.93
10.00	97.12	96.44
20.00	107.26	109.26
30.00	111.66	121.15
40.00	112.56	116.74
50.00	115.09	107.44
60.00	115.91	108.34
70.00	115.39	113.42
80.00	117.99	114.36
90.00	116.40	114.14
100.00	115.99	106.47
110.00	114.46	108.58
120.00	118.92	107.00
130.00	110.63	98.96
140.00	107.17	99.36
150.00	118.16	91.74
160.00	115.47	93.91
170.00	101.24	79.67
180.00	67.56	53.15

$r = 3.5 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00	26.40	43.47
10.00	73.36	71.29
20.00	80.96	87.38
30.00	86.47	87.50
40.00	85.53	90.83
50.00	83.77	85.19
60.00	85.46	88.69
70.00	83.18	85.44
80.00	84.63	85.22
90.00	83.60	84.78
100.00	80.84	82.74
110.00	87.75	81.18
120.00	85.29	82.77
130.00	86.20	78.10
140.00	84.99	76.51
150.00	84.56	75.54
160.00	79.31	72.29
170.00	76.60	60.77
180.00	26.67	19.23

$r = 4 \text{ cm}$	$D(r,\theta) \text{ cGy}$	
	$\theta$	Udara
0.00		19.35
10.00	54.42	64.06
20.00	65.94	66.84
30.00	65.57	68.87
40.00	69.18	72.75
50.00	66.67	72.23
60.00	66.45	70.28
70.00	69.26	71.53
80.00	68.23	71.63
90.00	61.73	71.27
100.00	66.92	69.98
110.00	67.06	65.38
120.00	70.48	59.70
130.00	65.98	59.70
140.00	65.75	60.25
150.00	68.99	61.18
160.00	62.54	57.36
170.00	55.40	23.84
180.00		1.32



## LAMPIRAN 4

### Perbandingan nilai $F(r,\theta)$ Sumber di tengah film

$\theta$	$F(r,\theta)$ r=1cm		$\theta$	$F(r,\theta)$ r=1.5cm	
	Udara	air		Udara	air
0.000	0.896	0.719	0.000	0.709	0.813
10.000	0.869	0.800	10.000	0.705	0.904
20.000	0.876	0.847	20.000	0.727	0.947
30.000	0.871	0.910	30.000	0.766	0.955
40.000	0.913	0.852	40.000	0.863	1.010
50.000	0.930	0.836	50.000	0.898	1.001
60.000	0.931	0.861	60.000	0.924	1.034
70.000	0.954	0.843	70.000	1.013	1.125
80.000	1.023	0.975	80.000	1.016	1.051
90.000	1.000	1.000	90.000	1.000	1.000
100.000	0.964	0.971	100.000	0.965	1.033
110.000	0.972	0.865	110.000	0.948	1.066
120.000	0.970	0.891	120.000	0.912	1.047
130.000	0.987	0.842	130.000	0.777	1.024
140.000	0.902	0.906	140.000	0.750	1.043
150.000	1.002	0.880	150.000	0.762	0.992
160.000	1.134	0.871	160.000	0.754	0.927
170.000	1.016	0.792	170.000	0.774	0.784
180.000		0.666	180.000	0.848	0.793

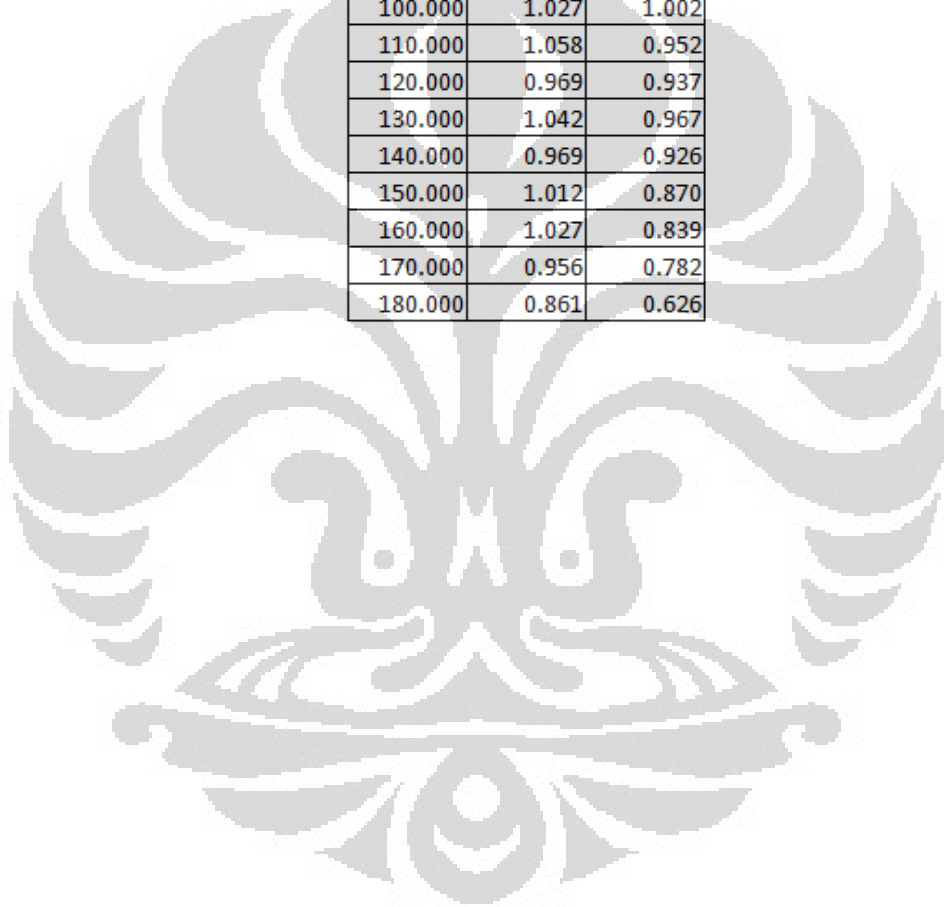
$\theta$	$F(r,\theta) r= 2 \text{ cm}$	
	Udara	air
0.000	0.914	0.432
10.000	0.943	0.494
20.000	0.967	0.755
30.000	0.942	0.816
40.000	0.952	0.898
50.000	0.970	0.873
60.000	0.983	0.942
70.000	0.992	0.922
80.000	1.003	0.789
90.000	1.000	1.000
100.000	1.128	0.868
110.000	0.986	0.894
120.000	0.983	0.791
130.000	0.969	0.904
140.000	1.070	0.885
150.000	1.045	0.863
160.000	0.987	0.519
170.000	1.423	0.436
180.000	1.052	0.383

$\theta$	$F(r,\theta) r= 2.5 \text{ cm}$	
	Udara	air
0.000	0.840	0.635
10.000	0.973	0.852
20.000	0.980	0.882
30.000	0.930	0.962
40.000	0.942	0.971
50.000	0.997	0.979
60.000	0.926	0.954
70.000	0.922	1.004
80.000	0.963	1.020
90.000	1.000	1.000
100.000	0.902	1.013
110.000	0.979	1.005
120.000	1.044	1.010
130.000	1.019	0.989
140.000	1.015	0.947
150.000	1.142	0.886
160.000	1.135	0.851
170.000	1.114	0.639
180.000	0.983	0.479

$\theta$	$F(r,\theta) r= 3 \text{ cm}$	
	Udara	air
0.000	0.851	0.664
10.000	0.900	0.739
20.000	0.966	0.828
30.000	0.974	0.861
40.000	0.973	0.895
50.000	0.942	0.950
60.000	1.015	0.917
70.000	0.941	0.966
80.000	0.989	0.965
90.000	1.000	1.000
100.000	1.018	0.897
110.000	0.976	0.929
120.000	0.985	0.935
130.000	1.008	0.859
140.000	1.068	0.879
150.000	1.092	0.818
160.000	1.052	0.757
170.000	1.043	0.703
180.000	0.911	0.472

$\theta$	$F(r,\theta) r= 3.5 \text{ cm}$	
	Udara	air
0.000	0.824	0.664
10.000	0.933	0.739
20.000	0.959	0.828
30.000	0.942	0.861
40.000	0.943	0.895
50.000	0.956	0.950
60.000	0.958	0.917
70.000	0.995	0.966
80.000	1.000	0.965
90.000	1.000	1.000
100.000	1.041	0.897
110.000	0.993	0.929
120.000	0.993	0.935
130.000	1.007	0.859
140.000	1.009	0.879
150.000	0.982	0.818
160.000	1.021	0.757
170.000	1.010	0.703
180.000	0.914	0.472

$\theta$	F(r, $\theta$ ) r= 4 cm	
	Udara	air
0.000	0.799	0.648
10.000	0.888	0.646
20.000	0.985	0.810
30.000	0.967	0.855
40.000	0.941	0.881
50.000	0.972	0.918
60.000	1.000	0.963
70.000	1.017	0.991
80.000	1.028	1.015
90.000	1.000	1.000
100.000	1.027	1.002
110.000	1.058	0.952
120.000	0.969	0.937
130.000	1.042	0.967
140.000	0.969	0.926
150.000	1.012	0.870
160.000	1.027	0.839
170.000	0.956	0.782
180.000	0.861	0.626



### Perbandingan nilai $F(r,\theta)$ Sumber di samping film

$\theta$	$F(r,\theta) r=1\text{cm}$	
	Udara	air
0	0.657	0.713
10	0.781	0.820
20	0.814	0.851
30	0.844	0.946
40	0.911	0.953
50	0.982	1.004
60	1.043	1.016
70	0.968	0.961
80	1.007	1.012
90	1.000	1.000
100	0.976	0.988
110	1.045	0.963
120	1.110	0.960
130	1.015	0.860
140	1.062	0.904
150	1.171	0.912
160	1.157	0.776
170	1.079	0.731
180	0.768	0.707

$\theta$	$F(r,\theta) r=1,5\text{ cm}$	
	Udara	air
0	0.518	0.616
10	0.625	0.763
20	0.965	1.036
30	1.220	0.988
40	1.160	1.358
50	0.958	1.164
60	1.109	0.947
70	1.124	1.062
80	0.861	1.411
90	1.000	1.000
100	0.838	0.934
110	0.939	0.895
120	1.272	0.977
130	1.270	0.875
140	1.134	0.858
150	1.050	1.074
160	1.059	0.832
170	1.085	0.775
180	0.550	0.736

$\theta$	$F(r,\theta) r=2 \text{ cm}$	
	Udara	air
0	0.535	0.491
10	0.949	0.767
20	0.985	0.921
30	1.046	1.017
40	1.064	0.983
50	1.012	1.041
60	1.006	1.049
70	1.076	0.965
80	1.027	1.085
90	1.000	1.000
100	1.003	0.992
110	1.031	0.974
120	0.973	0.994
130	1.046	0.881
140	1.097	0.836
150	1.092	0.874
160	1.031	0.753
170	0.892	0.688
180	0.623	0.539

$\theta$	$F(r,\theta) r=2,5 \text{ cm}$	
	Udara	air
0	0.513	0.525
10	0.882	0.820
20	0.969	0.936
30	0.985	1.031
40	1.001	1.071
50	1.008	1.037
60	1.020	1.062
70	1.015	1.036
80	1.038	0.967
90	1.000	1.000
100	1.065	0.998
110	1.015	0.997
120	1.021	0.901
130	0.990	0.977
140	0.992	0.947
150	0.971	0.878
160	0.976	0.830
170	0.901	0.717
180	0.585	0.549

$\theta$	$F(r,\theta) r=3 \text{ cm}$	
	Udara	air
0	0.486	0.582
10	0.805	0.815
20	0.892	0.926
30	0.933	1.032
40	0.946	1.001
50	0.974	0.927
60	0.987	0.941
70	0.987	0.989
80	1.013	1.001
90	1.000	1.000
100	0.995	0.932
110	0.979	0.947
120	1.012	0.929
130	0.936	0.854
140	0.901	0.852
150	0.987	0.782
160	0.960	0.796
170	0.839	0.673
180	0.559	0.449

$\theta$	$F(r,\theta) r=3,5 \text{ cm}$	
	Udara	air
0	0.307	0.499
10	0.855	0.819
20	0.945	1.006
30	1.014	1.011
40	1.007	1.054
50	0.991	0.994
60	1.015	1.039
70	0.992	1.005
80	1.012	1.004
90	1.000	1.000
100	0.966	0.975
110	1.046	0.954
120	1.013	0.970
130	1.020	0.911
140	1.001	0.888
150	0.991	0.873
160	0.926	0.832
170	0.892	0.698
180	0.310	0.221

$\theta$	$F(r,\theta) r=4 \text{ cm}$	
	Udara	air
0		0.266
10	0.864	0.881
20	1.049	0.921
30	1.046	0.951
40	1.107	1.009
50	1.071	1.005
60	1.071	0.981
70	1.119	1.001
80	1.105	1.004
90	1.000	1.000
100	1.083	0.981
110	1.084	0.915
120	1.136	0.833
130	1.060	0.831
140	1.052	0.835
150	1.100	0.845
160	0.995	0.790
170	0.879	0.328
180		0.018

$\theta$	$F(r,\theta) r=4,5 \text{ cm}$	
	Udara	air
0		
10	0.307	0.585
20	0.712	0.803
30	0.801	0.833
40	0.787	0.851
50	0.750	0.944
60	0.849	0.846
70	0.843	0.932
80	0.722	0.829
90	1.000	1.000
100	0.759	0.760
110	0.804	0.751
120	0.858	0.628
130	0.698	0.701
140	0.653	0.549
150	0.671	0.687
160	0.684	0.470
170	0.833	
180		