



UNIVERSITAS INDONESIA

**DOSIMETRI *IN VIVO* ELEKTRON 6 MeV MENGGUNAKAN
FILM GAFCHROMIC EBT 2**

SKRIPSI

LISARINI

0606068354

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**DOSIMETRI *IN VIVO* ELEKTRON 6 MeV MENGGUNAKAN
FILM GAFCHROMIC EBT 2**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

LISARINI

0606068354

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Lisarini

NPM : 0606068354

Tanda Tangan :

Bulan : Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Lisarini
NPM : 0606068354
Program Studi : Fisika S1 Reguler
Judul Skripsi : Dosimetri *In Vivo* Elektron 6 MeV Menggunakan Film Gafchromic EBT 2

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : **Dwi Seno, M.Si** (.....)

Pembimbing II : **Heru Prasetyo, M.Si** (.....)

Penguji I : **Prof. Dr. Djarwani S.** (.....)

Penguji II : **Kristina T. Wigati, M.Si** (.....)

Ditetapkan di : Depok
Bulan : Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dwi Seno Kuncoro, M.Si dan Heru Prasetio, M.Si, selaku dosen Pembimbing Skripsi yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Pak Bondan, yang telah membantu saya dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan di RSPAD Gatot Soebroto;
- (3) Prof. Dr. Djarwani, selaku Ketua Peminatan Fisika Medis dan Biofisika FMIPA UI yang telah memberikan ilmu berharga pada saya;
- (4) Kristina T. Wigati, M.Si yang telah membantu saya dalam penyusunan skripsi;
- (5) Dr. Terry Mart, selaku Pembimbing Akademis yang telah banyak membantu selama saya menjadi mahasiswa UI;
- (6) Semua dosen Fisika UI atas pelajaran yang diberikan selama kuliah, semoga ilmu yang diberikan dapat diamalkan dan bermanfaat;
- (7) Bapak dan Ibu di rumah yang menjadi inspirasi saya, terima kasih yang tak terucap atas doa yang dipanjatkan untuk kebaikan saya;
- (8) Mba Endah di Surakarta, atas kepercayaan, dukungan material dan moral serta doa yang diberikan selama ini;

- (9) Mba Luluk, atas perhatian dan kepedulian yang diberikan selama saya kuliah;
- (10) Orang tua dan keluarga saya (Mas Anang, Mba Tutik, Mba Mega, Mas Iwan, Mas Tri) yang memotivasi saya untuk menyelesaikan skripsi saya;
- (11) Willyan Alamsjah, atas waktu, tenaga, perhatian, dan dukungan yang tak ternilai serta doa selama ini;
- (12) Papa dan Mama di Rewwin atas dukungan dan doanya dalam penyelesaian sidang kelulusan;
- (13) Teman-teman Fisika Medis UI (Emi, Gita, Lisday, Vivi, Intan, Icha, Mursi, Puspita, Fauzi, Habib, Dika, Agus, Imam, Syahrul, Ricky) atas kebersamaan selama ini;
- (14) Semua teman-teman Fisika UI 2006, yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu, bahagia bisa berteman dengan kalian;
- (15) Teman Wisma Tissa (Emi dan Ita), makasih banyak atas bantuan, dukungan dan semangat dari kalian.
- (16) Semua pihak yang membantu penyelesaian skripsi saya baik langsung maupun tidak langsung.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Saya menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengharapkan saran dan kritik dari pembaca agar dalam penulisan berikutnya dapat lebih baik lagi. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu, khususnya dalam bidang fisika medis. Amin.

Depok, 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 : Lisarini
NPM : 0606068354
Program Studi : S1 Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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 *In Vivo* Elektron 6 MeV Menggunakan Film Gafchromic EBT 2

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Bulan : Desember 2010

Yang menyatakan

(Lisarini)

ABSTRAK

Nama : Lisarini
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Dosimetri *In Vivo* Elektron 6 Mev Menggunakan Film Gafchromic EBT 2

Telah dilakukan dosimetri in vivo pasien kanker payudara menggunakan detektor Film Gafchromic EBT 2. Pasien adalah pasien terapi elektron 6 MeV menggunakan pesawat LINAC Elekta. Dari hasil kalibrasi film diketahui hubungan antara densitas optik dengan dosis. Variasi lapangan dilakukan pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $14 \times 14 \text{ cm}^2$. Faktor-faktor di atas digunakan sebagai faktor koreksi pada penghitungan dosis yang diterima pasien. Sehingga dapat dihitung dosis yang diterima pasien. Dengan membandingkan dengan data dari Treatment Planning System (TPS), diketahui besar perbedaan dosis permukaan.

Kata kunci : dosimetri in vivo, detektor, film gafchromic, pasien terapi elektron, kalibrasi, densitas optik, dosis.

ABSTRACT

Name : Lisarini
Program Study : Bachelor Degree of Physics
Title : In Vivo Dosimetry 6 MeV Electron Using Gafchromic EBT 2 Film

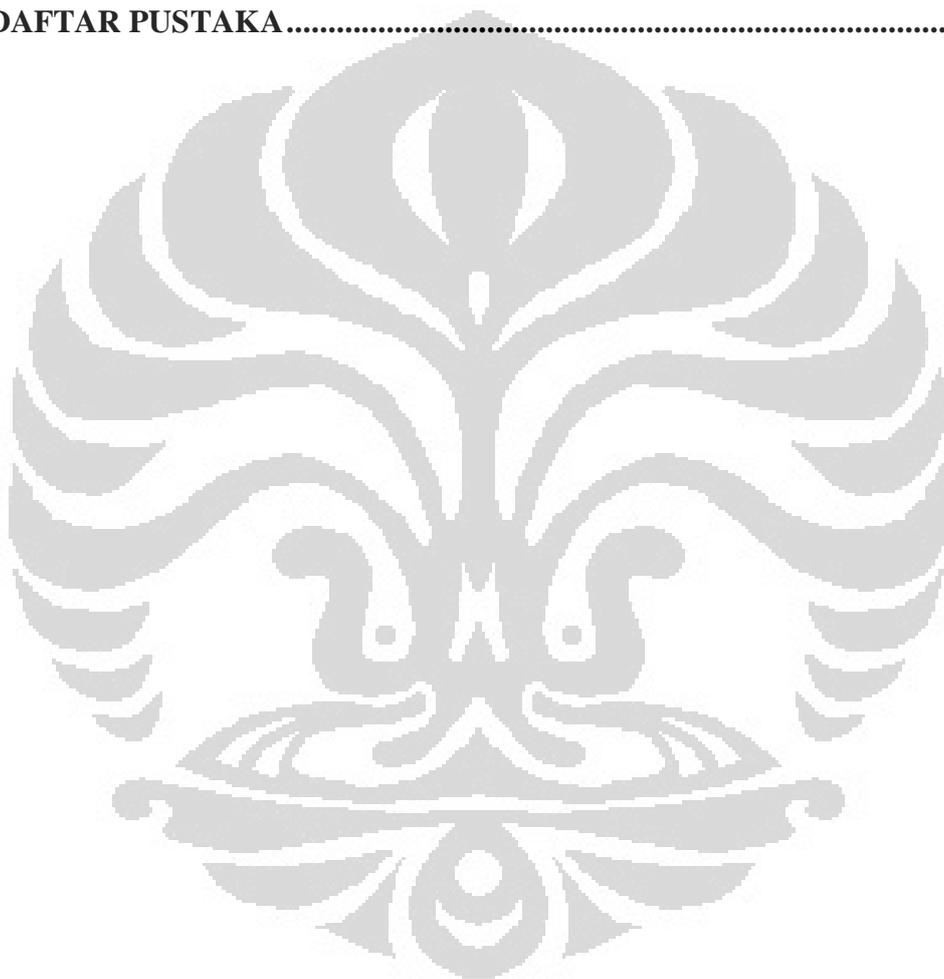
In vivo dosimetry for breast cancer patients using EBT 2 Gafchromic Film has been carried out. The patients are treated using 6 MeV electron beam from Elekta LINAC machine. The relation between optical density and dose from film calibration are obtained. Field variations were performed on the field of $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $14 \times 14 \text{ cm}^2$. The factors above are used as a correction factor in calculating the received dose by patients, therefore the dose can be calculated. A skin dose deviation is obtained by comparing data from the Treatment Planning System (TPS).

Key words: in vivo dosimetry, detector, gafchromic film, electron therapy patients, calibration, optical density, dose.

DAFTAR ISI

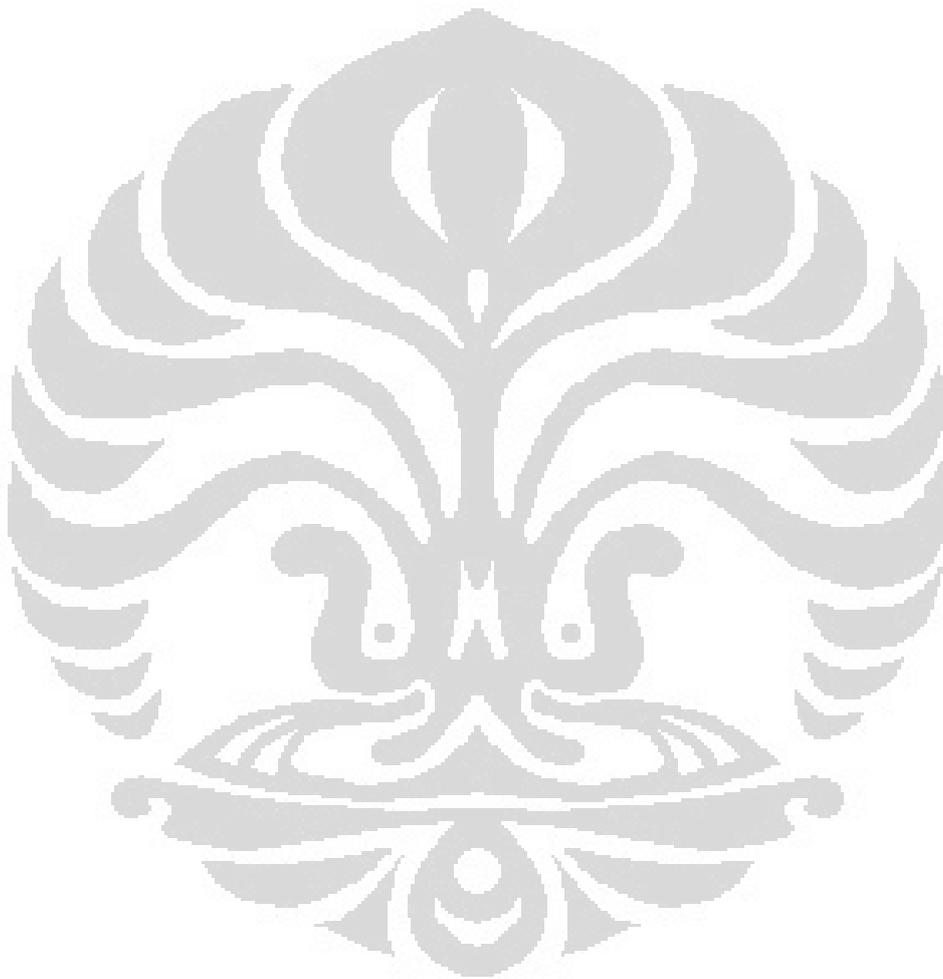
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
LAMPIRAN	xii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.4.1 Diagram Metode Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sejarah Radioaktivitas	6
2.2 Pengertian Radioaktif	6
2.3 Sifat Materi Radioaktif	7
2.4 Dosimetri <i>In Vivo</i>	10
2.5 Interaksi Radiasi dengan Materi	11
2.6 Interaksi Elektron dengan Materi	11
2.7 Film Gafchromic EBT 2	13
2.8 Kalibrasi Keluaran Elektron 6 MeV	15
BAB 3. METODE PENELITIAN	17
3.1 Pendahuluan	17
3.2 Kalibrasi LINAC Elekta	17
3.3 Kalibrasi Film Gafchromic EBT 2	19
3.4 Pengukuran Dosis Permukaan Pasien	19
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Kalibrasi Keluaran Elektron 6MeV	21
4.2 Kalibrasi Film Gafchromic EBT 2	23
4.3 Kurva PDD	25
4.3.1 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 10 x 10 cm^2	25
4.3.2 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 14 x 14 cm^2	25

4.4. Pengukuran Dosis Menggunakan Film Gafchromic pada Permukaan Fantom	27
4.4.1 Lapangan 10 x 10 cm ²	27
4.4.2 Lapangan 14 x 14 cm ²	27
4.5. Dosimetri In Vivo pada Pasien	28
4.5.1 Elektron 6 MeV, Lapangan 10 x 10 cm ²	28
4.5.2 Lapangan 14 x 5 cm ²	29
4.6 Penyimpangan Dosis Permukaan	30
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi dari film Gafchromic EBT.....	14
Tabel 4.1	Densitas Optik Film Gafchromic EBT 2.....	24
Tabel 4.2	Densitas Optik Kalibrasi Film pada Lapangan 10 x 10 cm ²	27
Tabel 4.3	Densitas Optik Kalibrasi Film pada Lapangan 14 x 14 cm ²	27
Tabel 4.4	Densitas Optik Dosimetri <i>In Vivo</i> pada Lapangan 10 x 10 cm ²	29
Tabel 4.5	Densitas Optik Dosimetri <i>In Vivo</i> pada Lapangan 14 x 5 cm ²	29
Tabel 4.6	Penyimpangan Dosis Permukaan	30



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Metode Penelitian.....	4
Gambar 2.1	Radiasi Sinar Alfa.....	7
Gambar 2.2	Radiasi Sinar Beta.....	8
Gambar 2.3	Radiasi Sinar Gamma.....	10
Gambar 2.4	Interaksi Elektron.....	12
Gambar 2.5	Dosis Kedalaman Elektron.....	13
Gambar 2.6	Lapisan Penyusun Film Gafchromic Tipe EBT 2.....	14
Gambar 3.1	Fantom Air	18
Gambar 3.2	Alat Pengukur Temperatur, Tekanan dan Kelembaban Udara.....	18
Gambar 3.3	Pemberian Tanda pada Film Gafchromic EBT 2	19
Gambar 4.1	Kurva OD vs Dosis	25
Gambar 4.2	Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 10 x 10 cm^2	26
Gambar 4.3	Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 14 x 14 cm^2	26
Gambar 4.4	Kurva Isodosis Kanker Payudara.....	28



LAMPIRAN

Tabel PDD Elektron 6 MeV

Kedalaman (mm)	Lapangan 10 X 10 (%)	Lapangan 14 x 14 (%)	Lapangan 10 x 10 normalisasi (%)	Lapangan 14 x 14 normalisasi (%)
0	100.00	100.00	76.92	77.46
1.5	100.80	100.80	77.54	78.08
3	102.60	102.60	78.92	79.47
4.5	106.10	105.30	81.62	81.56
5.3	108.90	107.50	83.77	83.27
6	111.10	110.10	85.46	85.28
6.8	113.20	112.20	87.08	86.91
7.5	115.40	114.20	88.77	88.46
8.3	117.30	116.10	90.23	89.93
9	119.30	118.00	91.77	91.40
9.8	121.20	119.90	93.23	92.87
10.5	123.20	121.70	94.77	94.27
11.3	124.90	123.50	96.08	95.66
12	126.50	125.10	97.31	96.90
12.8	127.90	126.40	98.38	97.91
13.5	129.10	127.70	99.31	98.92
14.3	129.70	128.60	99.77	99.61
15	130.00	129.00	100.00	99.92
15.8	129.80	129.10	99.85	100.00
16.5	129.10	128.70	99.31	99.69
17.3	127.90	127.80	98.38	98.99
18	126.20	126.20	97.08	97.75
18.8	123.50	124.20	95.00	96.20
19.5	120.50	121.60	92.69	94.19
21	112.60	114.40	86.62	88.61
22.5	102.30	104.80	78.69	81.18
24	90.10	93.20	69.31	72.19
25.5	76.30	79.90	58.69	61.89
27	61.80	65.70	47.54	50.89

Kedalaman (mm)	Lapangan 10 X 10 (%)	Lapangan 14 x 14 (%)	Lapangan 10 x 10 normalisasi (%)	Lapangan 14 x 14 normalisasi (%)
28.5	47.60	51.40	36.62	39.81
30	34.50	38.00	26.54	29.43
31.5	23.40	26.20	18.00	20.29
33	14.70	16.90	11.31	13.09
34.5	8.50	10.30	6.54	7.98
35	7.10	8.60	5.46	6.66
36.3	4.30	5.20	3.31	4.03
37.5	2.70	3.20	2.08	2.48
38.8	1.80	2.10	1.38	1.63
40	1.40	1.50	1.08	1.16
41.3	1.20	1.30	0.92	1.01
42.5	1.20	1.20	0.92	0.93
43.8	1.10	1.10	0.85	0.85
45	1.10	1.10	0.85	0.85
47.5	1.10	1.10	0.85	0.85
50	1.10	1.10	0.85	0.85
52.5	1.10	1.10	0.85	0.85
55	1.10	1.10	0.85	0.85

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radioterapi adalah jenis terapi yang menggunakan radiasi tingkat tinggi untuk menghancurkan sel-sel kanker. Baik sel-sel normal maupun sel-sel kanker bisa dipengaruhi oleh radiasi ini. Radiasi akan merusak sel-sel kanker sehingga proses pertumbuhan ataupun pembelahan sel-sel kanker akan terhambat. Tujuan radioterapi adalah untuk mengurangi dan menghilangkan rasa sakit atau tidak nyaman akibat kanker dan untuk mengurangi risiko kekambuhan dari kanker. Dengan pemberian setiap terapi, maka akan semakin banyak sel-sel kanker yang mati dan tumor akan mengecil. Sel-sel kanker yang mati akan hancur, dibawa oleh darah dan diekskresi keluar dari tubuh. Sebagian besar sel-sel sehat akan bisa pulih kembali dari pengaruh radiasi. Tetapi bagaimanapun juga, kerusakan yang terjadi pada sel-sel yang sehat merupakan penyebab terjadinya efek samping radiasi. Radiasi mempunyai efek yang sangat baik pada jaringan yang membelah dengan cepat.

Ada beberapa tahapan dalam dosimetri radioterapi untuk sampai pada pelaksanaan pendistribusian dosis pada pasien. Setiap tahapan tentu memiliki derajat ketidakpastian. Secara kumulatif derajat ketidakpastian beberapa tahapan tersebut dapat dideteksi dengan melakukan pengukuran dosis langsung pada pasien yang selanjutnya dikenal dengan dosimetri *In Vivo*. Cara ini sangat efektif untuk mengetahui besarnya perbedaan antara perencanaan dengan pelaksanaan. Sistem dosimetri dan sumber energi yang digunakan secara *in-vivo* pun bervariasi dan berkembang mengikuti kemajuan teknologi yang digunakan dalam radioterapi.

Pada penelitian ini, pasien kanker yang mendapatkan terapi elektron. Pesawat yang digunakan adalah pesawat teleterapi LINAC Elekta. Dosis permukaan diukur secara langsung dengan menggunakan dosimeter film

Gafchromic EBT 2. Hasilnya digunakan untuk mengetahui nilai densitas film dalam satuan OD (*Optical Density*) yang diukur dengan densitometer.

Dosimeter yang digunakan pada penelitian adalah dosimeter film. Film Gafchromic memiliki resolusi tinggi sehingga digunakan sebagai dosimeter dalam penelitian ini. Film yang digunakan yaitu film Gafchromic dengan tipe EBT 2. Film Gafchromic EBT 2 merupakan film tipe baru yang digunakan dalam dosimetri radioterapi. Film Gafchromic ekuivalen dengan jaringan tubuh (9.0% hydrogen, 60.6% carbon, 11.2% nitrogen, dan 19.2% oxygen). Film ini akan berubah menjadi ungu bila terkena radiasi.

Film Gafchromic berisi senyawa kimia khusus. Bila film tersebut terkena radiasi, maka film tersebut akan terpolimerisasi. Nilai densitas optik film Gafchromic dapat diukur dengan alat yang disebut dengan densitometer. Kelebihan lain dari film ini adalah film ini tidak perlu melakukan proses pencucian, sehingga tidak membutuhkan developer ataupun penguat (*fixer*). Film Gafchromic yang digunakan adalah untuk rentang terapi, dan dikategorikan sebagai dosimeter relatif. Pada penelitian ini, film Gafchromic digunakan untuk mengetahui distribusi dosis setelah film terpapar radiasi. Dengan densitometer dapat diketahui densitas optik.

Film Gafchromic memiliki nomor atom 6,98. Ini berarti film ini memiliki nomor atom yang hampir sama dengan air. Sehingga untuk dosimetri, film tersebut dapat digunakan pada daerah gradien dosis yang tinggi. Selain itu respon dari film Gafchromic tidak dipengaruhi oleh energi.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Mengetahui hasil kali kurva kalibrasi film Gafchromic EBT 2 berupa kurva antara densitas optik dengan dosis.
2. Memperoleh hasil kalibrasi film Gafchromic EBT 2.
3. Mengetahui perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic EBT 2 dengan hasil perhitungan.
4. Dapat membuktikan penggunaan film Gafchromic sebagai detektor.

1.3 Batasan Masalah Penelitian

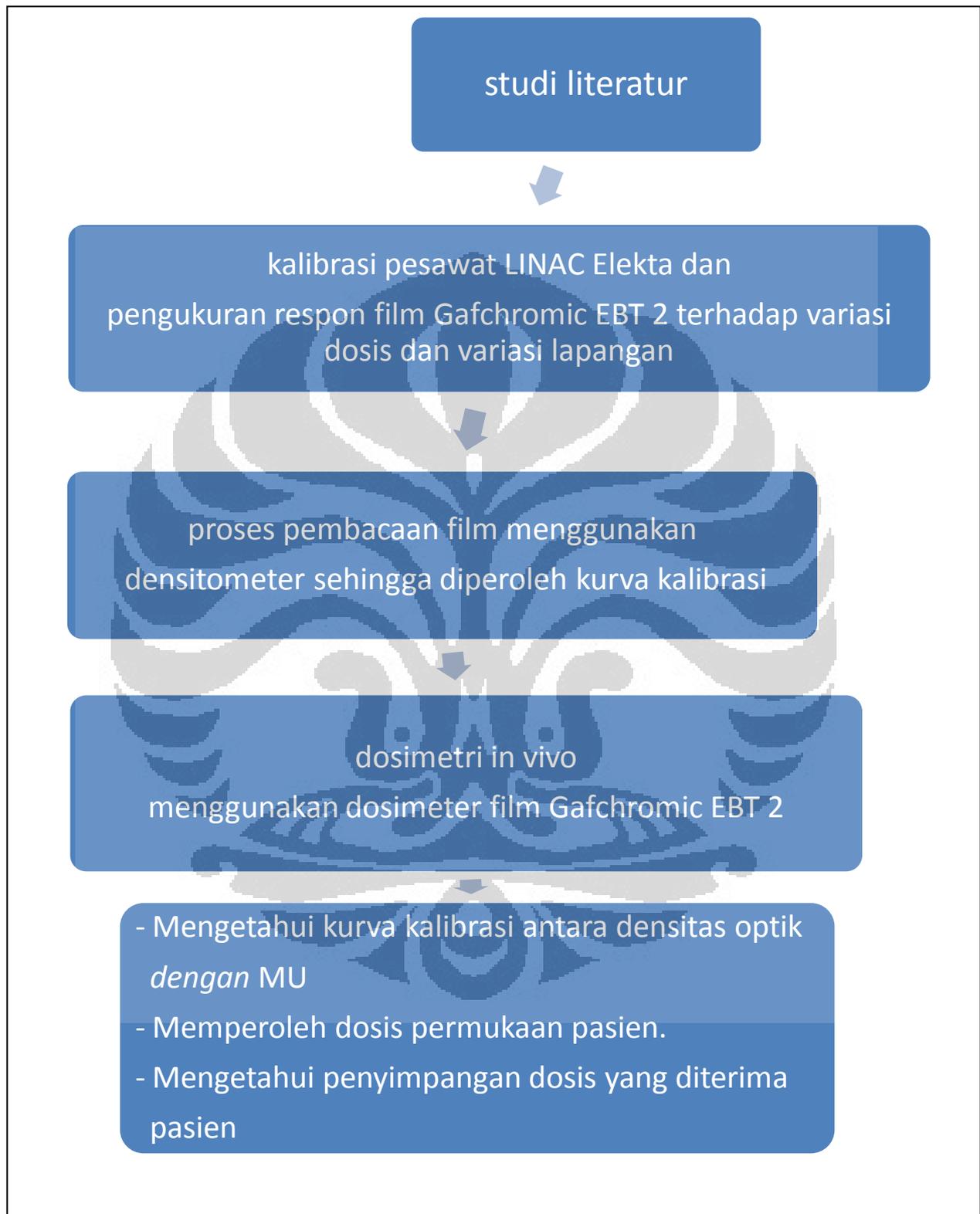
Penelitian ini dibatasi pada pengukuran dosis permukaan melalui dosimetri *In Vivo* dengan dosimeter film gafchromic tipe EBT 2. Energi yang digunakan yaitu elektron 6 MeV melalui pesawat LINAC Elekta. Pengambilan sampel dilakukan pada pasien kanker payudara terapi elektron 6 MeV. Variasi lapangan yang digunakan adalah lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan lapangan $14 \times 14 \text{ cm}^2$.

1.4 Metodologi Penelitian

Langkah awal penelitian ialah melakukan kalibrasi pesawat LINAC berdasarkan protokol TRS 398 untuk elektron. Setelah itu melakukan kalibrasi film Gafchromic EBT 2 pada energi elektron 6 MeV dan variasi lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $14 \times 14 \text{ cm}^2$.

Langkah berikutnya ialah menentukan densitas optik film menggunakan densitometer. Hubungan antara densitas optik dengan dosis diperoleh melalui kalibrasi film. Dengan demikian dapat diperoleh dosis permukaan.

1.4.1. Diagram Metode Penelitian



Gb 1.1. Diagram Metode Penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari 5 bab, secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

1. **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah yang terkait dengan penelitian, tujuan penelitian, dan pembatasan masalah.

2. **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian sebagai modal pengetahuan dasar untuk memahami pembahasan yang sedang dikaji.

3. **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas metodologi penelitian yang mencakupi semua serangkaian kegiatan yang dilakukan selama pengambilan data dan disertai dengan pendekatan teoritik terhadap masalah yang sedang dikaji.

4. **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi hasil pengolahan data dan analisis secara komprehensif.

5. **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan penelitian dan saran yang mendukung penelitian agar untuk pengembangannya mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sejarah Radioaktivitas

Pada awalnya radioaktivitas ditemukan oleh Bequerel pada tahun 1896 setelah ditemukan sinar-X oleh Rontgen pada tahun 1895. Bequerel melihat bahwa uranium disulfat dapat menghitamkan plat film. Kemudian Rutherford melakukan percobaan lebih lanjut pada garam-garam uranium. Percobaan tersebut menunjukkan bahwa terdapat dua macam radiasi, yang pertama mudah diserap oleh bahan yang oleh Rutherford disebut sinar alfa dan yang kedua memiliki daya tembus yang lebih besar disebut sinar beta. Kemudian ditemukan pula bahwa zat radioaktif alam memancarkan jenis radiasi ketiga yang di sebut sinar gamma. Radioaktivitas adalah pemancaran sinar-sinar radioaktif secara spontan dengan disertai peluruhan inti atom menjadi inti yang lain. Sinar radioaktif ini ada 3 macam yaitu: sinar alfa (α), sinar beta (β), dan sinar gamma (γ) [1].

2.2 Pengertian Radioaktif

Radioaktif adalah peluruhan inti yang berlangsung secara spontan, tidak terkontrol dan menghasilkan radiasi. Unsur yang memancarkan radiasi seperti ini dinamakan materi radioaktif. Secara garis besar inti atom akan berada dalam dua keadaan dasar yaitu keadaan stabil dan keadaan tidak stabil. Dua keadaan ini ditentukan oleh komposisi partikel penyusun inti. Keadaan stabil dicapai apabila jumlah proton lebih sedikit atau sama banyak dengan jumlah neutron. Sedangkan keadaan tidak stabil dicapai apabila jumlah proton lebih besar dari jumlah neutron. Keadaan atom yang stabil menyebabkan gaya inti atom lebih besar dibanding dengan gaya elektrostatis. Sebaliknya, keadaan atom yang tidak stabil menyebabkan gaya elektrostatis lebih besar dibanding dengan gaya inti atom. Keadaan atom yang tidak stabil menyebabkan aktivitas radiasi secara spontan sampai atom mencapai keadaan stabil [2].

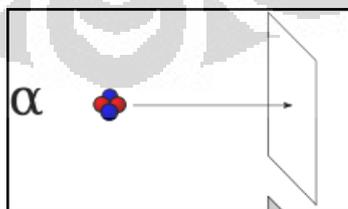
Gaya elektrostatis pada keadaan tidak stabil lebih besar karena gaya elektrostatis memiliki jangkauan yang lebih luas dibandingkan dengan gaya inti walaupun partikel proton saling berdekatan dan berseberangan. Inti atom yang tidak stabil akan melakukan aktivitas radiasi secara spontan sampai tercapai keadaan stabil. Inti dengan jumlah proton (Z) lebih besar dari jumlah neutron (N) akan menghasilkan zat radioaktif. Pada keadaan ini gaya elektrostatis jauh lebih besar dari gaya inti sehingga ikatan atom-atom menjadi lemah dan inti berada dalam keadaan tidak stabil [2].

2.3 Sifat Materi Radioaktif

a. Radiasi Sinar X

Sinar X adalah suatu gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang antara 10^{-8} – 10^{-12} m dan frekuensi sekitar 10^{16} – 10^{21} Hz. Ditemukan oleh seorang ilmuwan jerman Wilhelm Conrad Rontgen (1845-1923). Sinar X merupakan pancaran elektron dari tabung katode, lempeng logam yang letaknya berdekatan dengan tabung katode memancarkan sinar fluoresens selama elektron dialirkan, sinar tersebut disebabkan oleh radiasi dari suatu atom. Karena tidak dikenal dalam ilmu, maka Rontgen memberikan nama dengan sebutan sinar X [3].

b. Radiasi Sinar Alfa (α)



Gb 2.1 Radiasi sinar alfa

Sinar alfa merupakan radiasi partikel yang bermuatan positif. Partikel sinar alfa sama dengan inti helium, bermuatan $+2e$ dan bermassa 4 sma. Partikel alfa adalah partikel terberat yang dihasilkan oleh zat

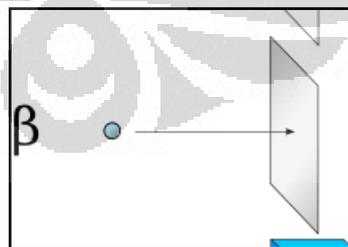
radioaktif. Sinar alfa dipancarkan dari inti dengan kecepatan sekitar 1/10 kecepatan cahaya. Karena memiliki massa yang besar, daya tembus sinar alfa paling lemah diantara sinar-sinar radioaktif. Di udara hanya dapat menembus beberapa cm saja dan tidak dapat menembus kulit. Sinar alfa dapat dihentikan oleh selembar kertas biasa. Sinar alfa akan kehilangan energinya ketika bertabrakan dengan molekul media yang dilaluinya. Tabrakan itu mengakibatkan media yang dilaluinya mengalami ionisasi. Persamaan reaksi pemancar alfa dapat ditulis sebagai berikut:



dengan Z adalah nomor massa, dan A adalah nomor atom [3].

Oleh karena dia hanya mempunyai dua muatan listrik, maka alfa akan langsung diserap bahan. Akibatnya radiasi alfa mempunyai daya tembus pendek, dan mempunyai jalur lurus, karena massanya yang berat. Pada kulit, radiasi alfa hanya menembus hingga lapisan epidermis, khususnya bagian sel yang mati, dan jarang sekali menembus hingga sel hidup kecuali alfa mempunyai energi yang cukup besar. Sebagai proteksi, digunakan selembar kertas untuk radiasi eksternal, tetapi untuk radiasi internal, radiasi alfa akan sangat berbahaya sekali [3].

c. Radiasi Sinar Beta (β)



Gb 2.2 Radiasi sinar beta

Sinar beta merupakan radiasi partikel yang bermuatan negatif. Radiasi beta merupakan radiasi elektron, baik yang bermuatan positif (positron) ataupun yang bermuatan negatif. Energi beta berkisar 0,018 MeV

hingga 6,1 MeV. Untuk energi 1 MeV, kecepatan beta mendekati kecepatan cahaya. Pemancaran beta mempunyai 3 jenis proses, yaitu pemancaran elektron, pemancaran positron, dan penangkapan elektron. Persamaan reaksi radiasi beta adalah:

Pemancaran elektron



Pemancaran positron

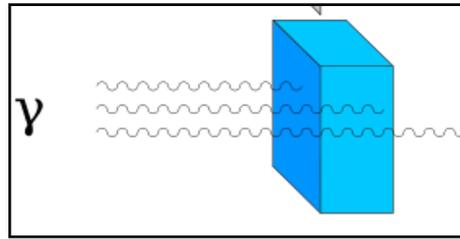


Pemancaran elektron



Oleh karena beta hanya mempunyai satu muatan listrik, maka dia agak sulit diserap bahan, sehingga daya tembusnya di bahan menjadi lebih besar (beberapa millimeter). Selain itu karena massanya yang ringan, maka dalam bahan, beta akan dibelokkan. Pembelokan ini akan lebih sering pada energi beta yang kecil. Untuk radiasi eksterna, selembat aluminium dapat digunakan untuk menghalangi jalannya radiasi beta, tetapi untuk radiasi interna, radiasi beta juga sangat berbahaya seperti halnya alfa [3].

d. Radiasi Sinar Gamma (γ)



Gb 2.3 Radiasi sinar gamma

Radiasi gamma, seperti juga radiasi ultraviolet, maupun sinar X merupakan radiasi gelombang elektromagnetik. Oleh karena itu, dia bukan partikel dan monoenergitik, maka daya tembusnya sangat besar. Untuk radiasi gelombang elektromagnetik ini mempunyai jenis interaksi dengan bahan tertentu, yang akan di jelaskan lebih jauh dibawah. Untuk radiasi eksterna, gamma sebaiknya dihalangi dengan timbal (Pb) atau beton. Radiasi ini akan sangat berbahaya bila berupa radiasi eksterna [3].

2.4 Dosimetri *In Vivo*

Dosimetri *In Vivo* sebagai langkah untuk mendeteksi dosis secara aktual yang diberikan ke pasien yang telah direkomendasikan untuk mendeteksi kualitas dalam radioterapi. Hal tersebut dapat mendeteksi variasi tipe dari kesalahan sepanjang pemberian dosis tersebut. Verifikasi dosis pada pembelajaran tersebut terdiri dari pengukuran untuk dosis maksimum dan dosis keluaran dengan menggunakan film. Akurasi dari pengukuran tersebut ditentukan oleh kombinasi ketidakpastian dari faktor kalibrasi dan faktor koreksi [4].

Dosimeter *In Vivo* dapat dibagi menjadi tiga kelas yaitu pengukuran dosis maksimum, pengukuran dosis keluaran, pengukuran dosis intracavitari. Dalam penelitian ini dosimeter yang digunakan adalah pengukuran dosis maksimum dan dosis keluaran. Pengukuran dosis maksimum merupakan verifikasi output dan performa dari unit pada tiap perlakuan. Pengukuran dosis maksimum juga digunakan untuk mengecek akurasi dari *set-up* pasien. Pengukuran dosis keluaran untuk memverifikasi algoritma kalkulasi dosis dan menentukan parameter pasien,

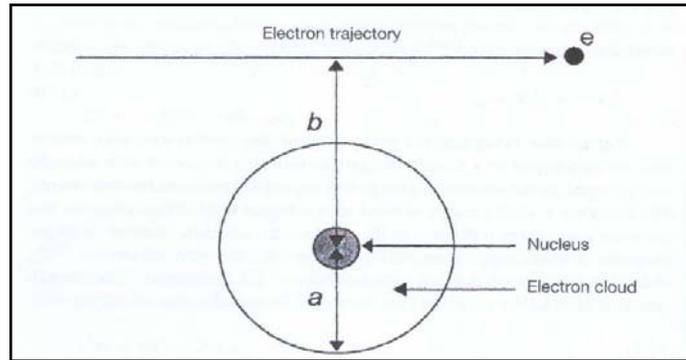
bentuk, ukuran, jaringan yang inhomogenitas pada prosedur perhitungan dosis. Variasi metode tepat untuk dosis target dari pengukuran dosis ekstrins dan dosis keluaran [4].

2.5 Interaksi Radiasi dengan Materi

Energi radiasi dapat mengeluarkan elektron dari inti atom. Maka atom ini kehilangan elektron dan menjadi atom bermuatan positif yang disebut ion positif. Elektron yang dikeluarkan itu dapat tinggal bebas atau mengikat atom netral lainnya dan membentuk ion negatif. Peristiwa pembentukan ion positif dan ion negatif dinamakan ionisasi. Melalui proses inisiasi jaringan tubuh akan mengalami kelainan atau kerusakan pada sel-sel tubuh. Untuk dapat mengetahui sistem pengukuran dosis radiasi, dapat digunakan proses ionisasi di udara [5].

2.6 Interaksi Elektron dengan Materi

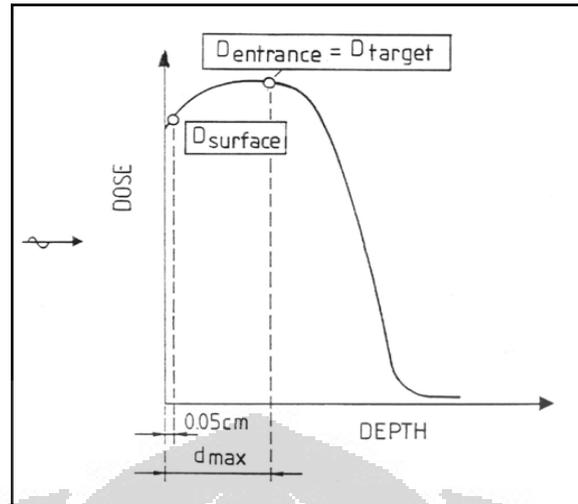
Elektron kehilangan energi kinetik pada saat melewati medium, melalui interaksi antara muatan dengan medan listrik elektron medium. Dalam interaksi antara elektron dengan elektron medium, karena keduanya mempunyai massa diam sama, maka transfer energi kinetik menjadi relatif besar dan diiringi dengan perubahan arah gerakan elektron asal. Jika pada setiap tumbukan elektron pembawa energi kinetik yang lebih tinggi adalah elektron asal, maka pertukaran energi maksimum bila transfer energi setengah dari energi kinetik elektron asal. Selain itu, elektron juga mempunyai kemungkinan berinteraksi dengan medan inti, mengalami perlambatan cepat sehingga mengalami pembelokan lintasan yang diiringi oleh pancaran bremsstrahlung [6]. Secara skematis interaksi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gb 2.4 Interaksi elektron

- Untuk $b \lll a$, elektron akan mengalami tumbukan lunak dengan seluruh atom dan hanya sedikit energi yang ditransfer dari elektron datang ke elektron orbital atom.
- Untuk $b = a$, elektron akan mengalami tumbukan keras dengan elektron orbital dan fraksi energi kinetik elektron datang yang ditransfer ke elektron orbital tinggi.
- Untuk $b \lll a$, elektron datang mengalami interaksi dengan medan inti. Elektron mengalami pembelokan yang disertai pancaran Bremstrahlung dengan energi mulai dari nol sampai dengan energi elektron datang. Energi Bremstrahlung tergantung pada harga parameter b . Penurunan harga b akan mengakibatkan energi Bremstrahlung meningkat.

Gambar 2.5 menunjukkan dosis kedalaman elektron. Tampak pada gambar tersebut dosis semakin meningkat hingga kedalaman maksimum. Selanjutnya dosis semakin menurun setelah mencapai kedalaman maksimum. Titik dimana penyerapan dosis adalah maksimum dinamakan kedalaman dosis maksimum [7].

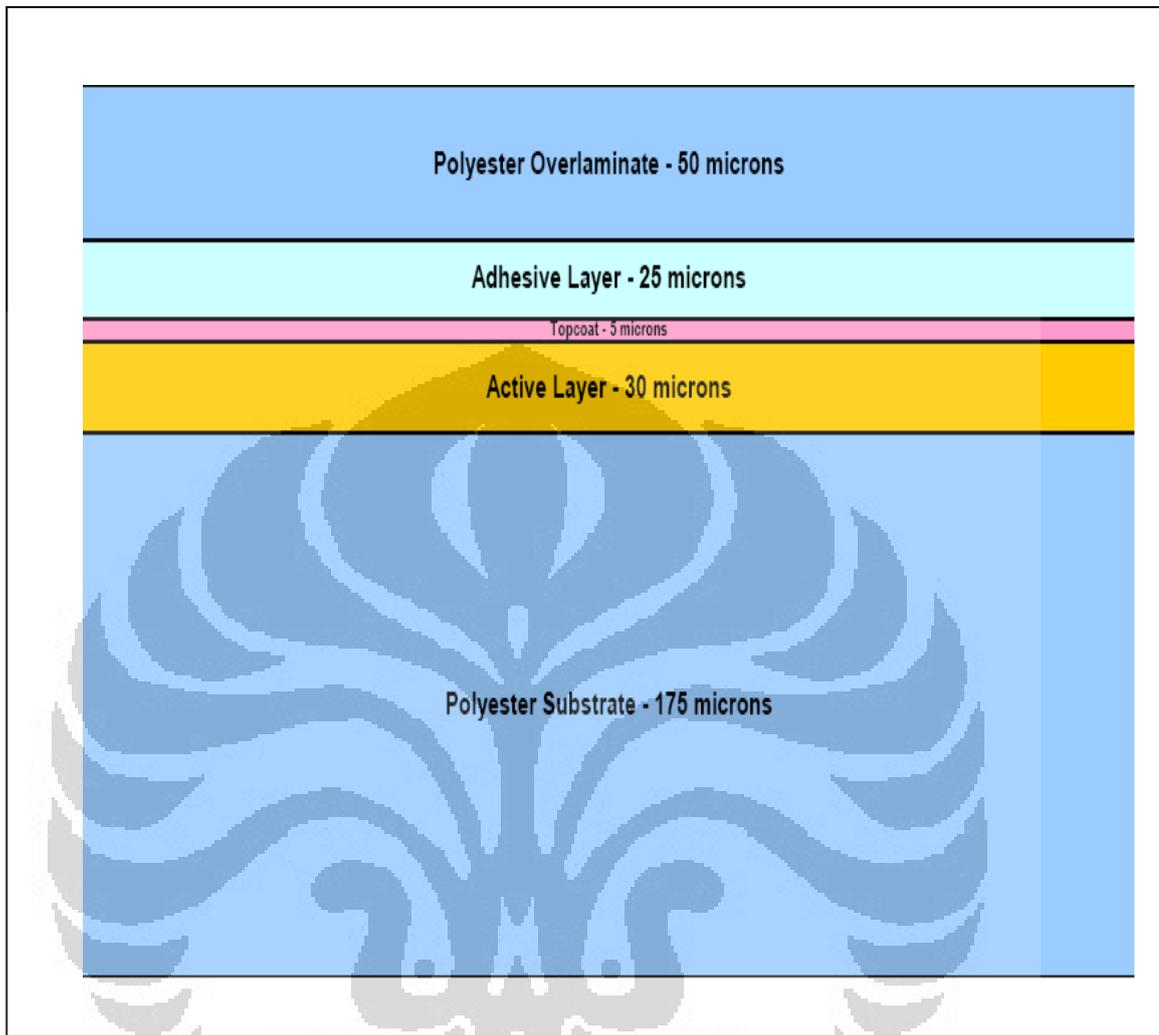


Gb 2.5 Dosis Kedalaman Elektron

2.7 Film Gafchromic EBT 2

Film Gafchromic EBT 2 telah dikembangkan secara khusus untuk menangani kebutuhan fisikawan medis serta para ahli yang bekerja di lingkungan radioterapi. Film Gafchromic EBT 2 telah dikembangkan dengan beberapa perbaikan dalam teknologi film ISP Radiochromic. Dosimetri yang satu ini peka terhadap paparan cahaya. Film Gafchromic EBT 2 adalah film pengukuran yang dirancang untuk pengukuran dosis serap foton atau elektron energi tinggi. Yang perlu diperhatikan dalam hal ini, respon film adalah energi bebas untuk foton diatas 0.2 MeV. Range energi yang bisa ditangkap oleh film yaitu 1 cGy-800 cGy dan maksimum sensitivitasnya bisa mencapai 636 nm [8].

Struktur bahan film Gafchromic EBT 2 terdiri dari *polyester overlamine* yang memiliki ketebalan 50 μm . Kemudian bagian struktur yang lain adalah *Polyester substrate* yang memiliki tebal 175 μm yang melapisi *active layer* dengan ketebalan 30 μm dan lapisan pelindung *top coat* dengan ketebalan 5 μm . Selain itu terdapat bahan *Adhesive layer* dengan ketebalan 25 μm [8].



Gambar 2.6 Lapisan Penyusun Film Gafchromic Tipe EBT 2

Pada Tabel 2.1 menunjukkan detail dari komposisi atom yang menyusun dosimetri film Gafchromic EBT. Nomor atom efektif telah dihitung menurut McCullough dan Holmes. Nomor atom efektifnya (Z_{eff}) bernilai 6,98. Nilai ini mendekati dari nilai Z_{eff} dari air 7,3 [8].

Tabel 2.1 Komposisi dari film Gafchromic EBT

Atomic Composition						$Z_{\text{eff}} = [\sum a_i (Z_i)a_i]^{1/a}$
C	H	O	N	Li	Cl	
42.3%	39.7%	16.2%	1.1%	0.3%	0.3%	6.98

2.8 Kalibrasi Keluaran Elektron 6 MeV

Faktor koreksi elektrometer didapat dari perkalian hasil bacaan elektrometer, koreksi tekanan dan suhu, faktor koreksi kelembaban dari detektor, koreksi polaritas dan faktor pengurangan saturasi dari pengumpulan muatan pada detektor. Rumus untuk menghitung faktor koreksi elektrometer ialah [9]:

$$M_Q = M_u \cdot k_{TP} \cdot k_h \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (2.1)$$

dengan

$$k_{TP} = \frac{(273,2+T)P_0}{(273,2+T_0)P} \quad (2.2)$$

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (2.3)$$

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) + a_2 \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right)^2 \quad (2.4)$$

Dosis pada kedalaman maksimum dapat dihitung dengan pembagian antara dosis pada kedalaman referensi dengan PDD pada kedalaman referensi. Rumus untuk menghitung dosis pada kedalaman maksimum ialah [9]:

$$D_{w,Q}(Z_{maks}) = \frac{100D_{w,Q}(Z_{ref})}{PDD(Z_{ref})} \quad (2.5)$$

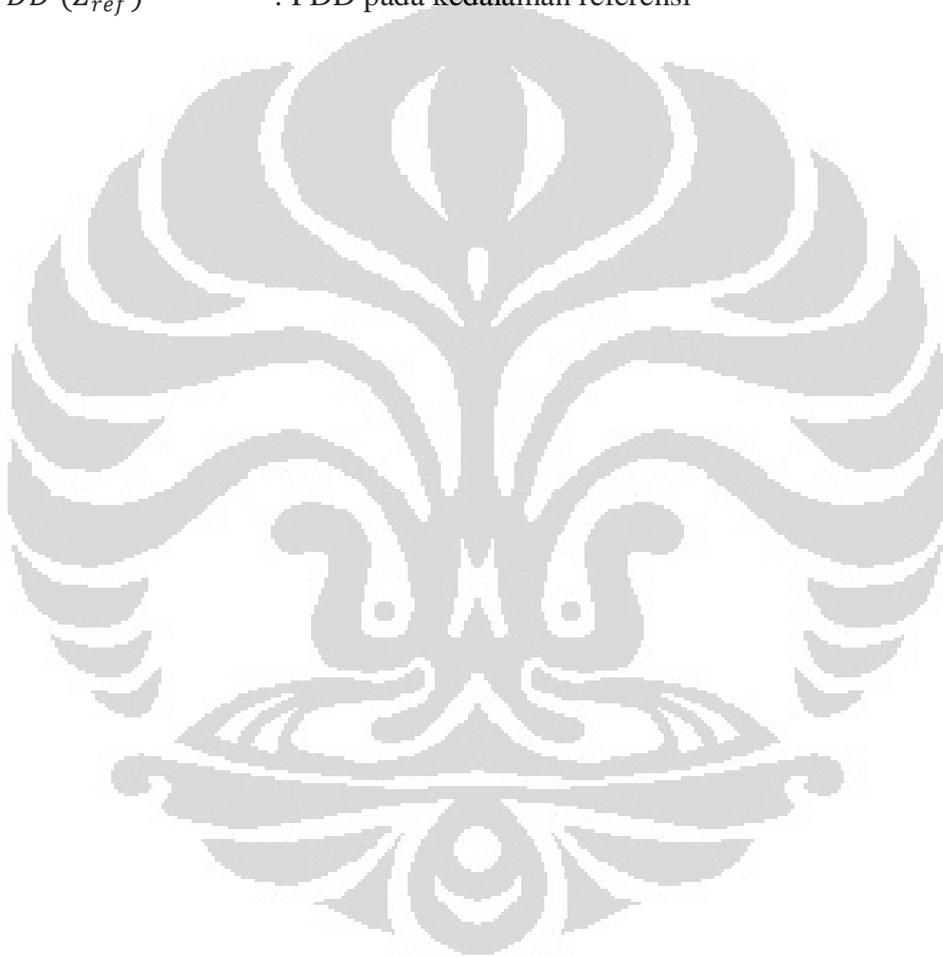
dengan

$$D_{w,Q}(Z_{ref}) = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (2.6)$$

Keterangan:

M_Q	: faktor koreksi elektrometer
M_u	: hasil bacaan elektrometer
k_{TP}	: faktor koreksi tekanan dan suhu
k_h	: faktor koreksi kelembaban dari detektor
k_{pol}	: faktor koreksi polaritas
k_s	: faktor pengurangan saturasi dari pengumpulan muatan pada detektor
T	: suhu hasil pengukuran
T_0	: suhu referensi 20°C
P_0	: tekanan referensi 20°C
P	: tekanan hasil pengukuran

M_+	: tegangan positif
M_-	: tegangan negatif
a_0, a_1, a_2	: koefisien yang menjadi ketetapan
Q_1	: tegangan negatif 400 V
Q_2	: tegangan negatif 100 V
$D_{w,Q} (Z_{maks})$: dosis pada kedalaman maksimum
$D_{w,Q} (Z_{ref})$: dosis pada kedalaman referensi
$PDD (Z_{ref})$: PDD pada kedalaman referensi



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

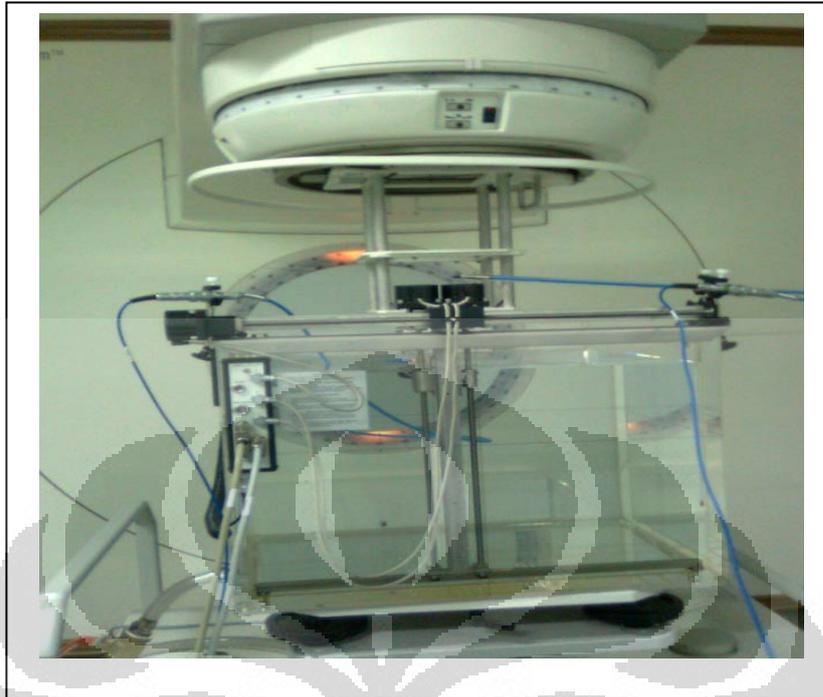
3.1 Pendahuluan

Penelitian ini dimulai dari studi literatur. Penentuan tempat penelitian dan pengambilan data dilakukan di Instalasi Radioterapi RSPAD Gatot Subroto Jakarta, PTKMR BATAN, dan Laboratorium Fisika Medis Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia Depok.

3.2 Kalibrasi LINAC Elekta

Kalibrasi Pesawat LINAC Elekta dilakukan di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat. Kalibrasi menggunakan sistem TRS 398 (Technical Reports Series No. 398 menggunakan fantom air. Kalibrasi untuk elektron menggunakan detektor “Markus”. Saat kalibrasi yang perlu diperhatikan adalah tekanan udara, kelembaban udara serta suhu, baik suhu ruangan atau suhu air di dalam fantom air. Tegangan yang digunakan adalah V1 sebesar +400 V dan -400V. Tegangan V2 adalah 100 V. Sehingga perbandingan tegangan adalah 4. Elektrometer akan menunjukkan berapa besar muatan yang dihasilkan dari setiap paparan. Z ref yang digunakan untuk elektron adalah $Z_{ref} = (0,6 \times R_{50}) - 0.1$. Dari kalibrasi tersebut didapat berapakah nilai Gy/MU untuk masing-masing energi.

Gambar 3.1 menunjukkan gambar fantom air yang digunakan pada saat pengukuran PDD. Detektor yang digunakan adalah *ionization chamber*. Gambar 3.2 adalah alat pengukur temperatur, tekanan, dan kelembaban udara. Pada saat kalibrasi LINAC, ketiga besaran tersebut sangat diperlukan. Nantinya akan digunakan dalam perhitungan kalibrasi LINAC menggunakan protokol TRS 398.



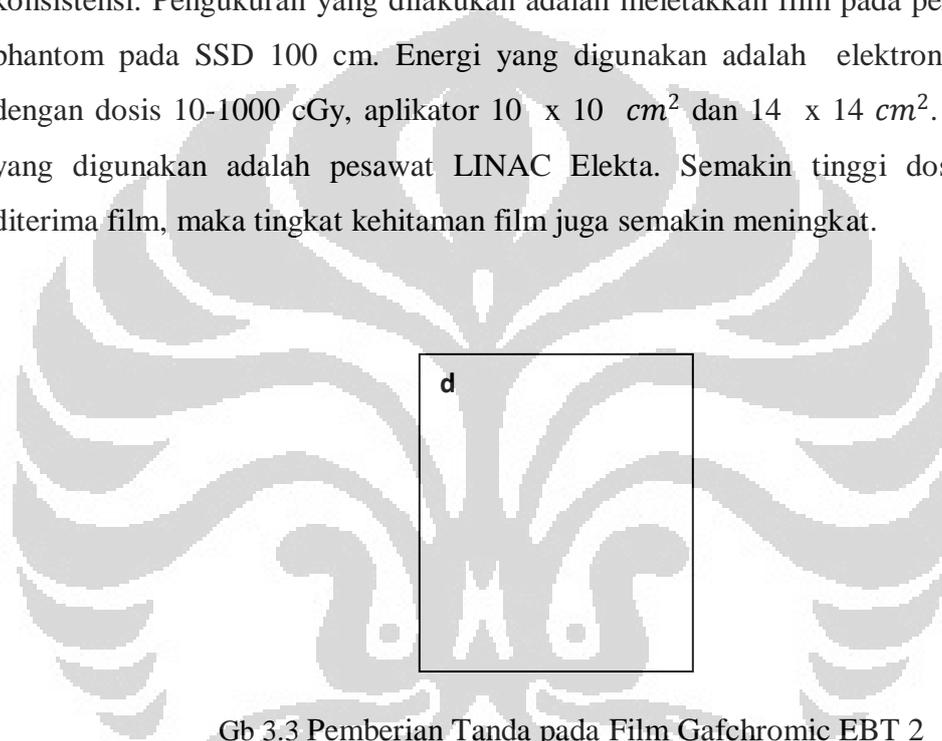
Gb. 3.1 Fantom air



Gb 3.2 Alat Pengukur Temperatur, Tekanan dan Kelembaban Udara

3.3 Kalibrasi Film Gafchromic EBT 2

Dosimeter yang digunakan adalah dosimeter film Gafchromic EBT 2. Film dipotong menjadi berukuran $4 \times 3 \text{ cm}^2$ sebanyak beberapa potong yang diperlukan. Pembuatan marker dibuat dengan memberi tanda huruf “d” dengan tinta permanen pada bagian sudut atas film. Ini mempunyai maksud agar menjaga konsistensi. Pengukuran yang dilakukan adalah meletakkan film pada permukaan phantom pada SSD 100 cm. Energi yang digunakan adalah elektron 6 MeV dengan dosis 10-1000 cGy, aplikator $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dan $14 \times 14 \text{ cm}^2$. Pesawat yang digunakan adalah pesawat LINAC Elekta. Semakin tinggi dosis yang diterima film, maka tingkat kehitaman film juga semakin meningkat.



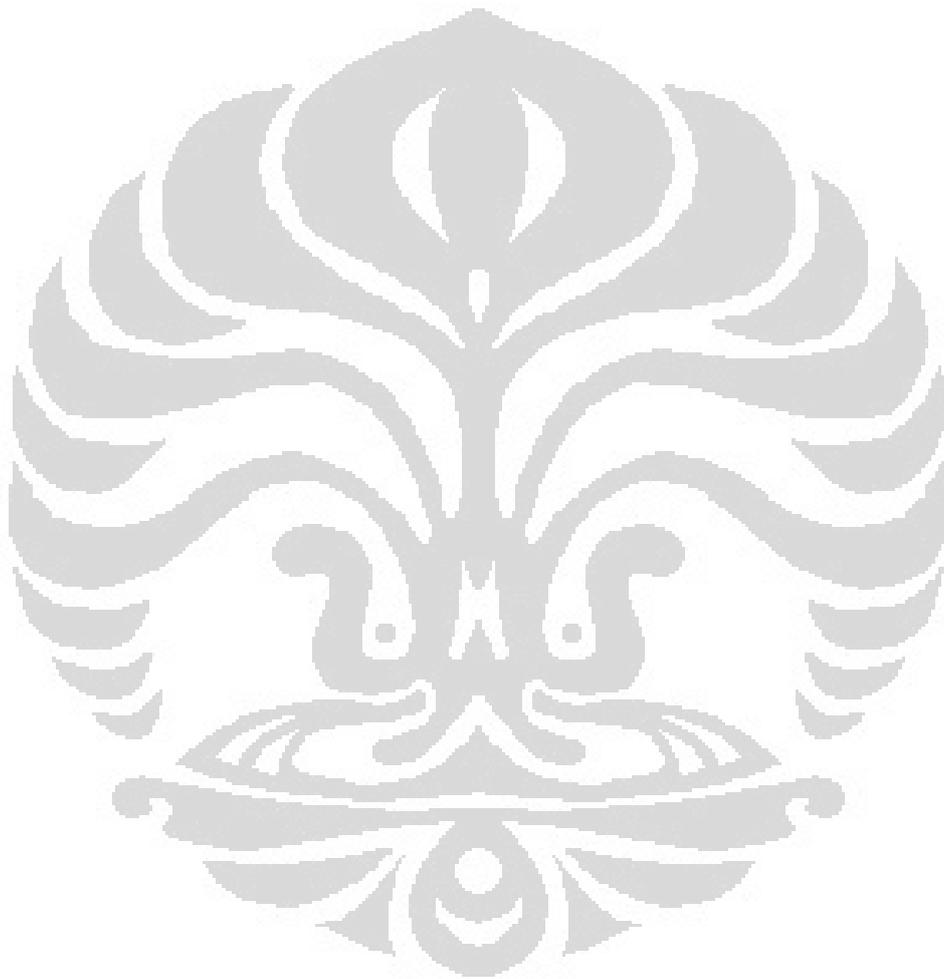
Gb 3.3 Pemberian Tanda pada Film Gafchromic EBT 2

Film Gafchromic yang telah diberi paparan radiasi akan menunjukkan tingkat kehitaman yang berbeda-beda. Proses pembacaan film dilakukan dengan densitometer. Tujuannya adalah untuk mengetahui densitas optik. Sehingga dapat dibuat kurva antara hubungan dosis dengan densitas optik. Dari kurva tersebut diperoleh kurva kalibrasi film Gafchromic EBT 2.

3.4 Pengukuran Dosis Permukaan Pasien

Pengukuran dosis permukaan pasien dilakukan dengan meletakkan film di permukaan pasien. Pengukuran dilakukan pada beberapa pasien terapi elektron. Film yang telah diberi paparan radiasi akan diperoleh nilai densitas optiknya

menggunakan densitometer. Dari nilai densitas optik tersebut akan diperoleh dosis permukaan pasien dengan menggunakan kurva kalibrasi.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kalibrasi Keluaran Elektron 6 MeV

Kalibrasi keluaran elektron 6 MeV Elekta 1350 milik RSGS menggunakan protokol 398. Dari pengukuran PDD elektron 6 MeV diperoleh $R_{50} = 2,452 \text{ g/cm}^2$. Maka dapat diketahui $Q(R_{50,w})$ adalah $2,452 \text{ g/cm}^2$. Sehingga Z_{ref} yang digunakan adalah $1,37 \text{ g/cm}^2$. Aplikator yang digunakan adalah $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dengan SSD 100 cm dengan laju keluaran sebesar 400 MU/menit.

Detektor yang digunakan adalah ionization chamber Markus dengan bahan material *polyethylene*. Tekanan P_0 adalah 101,3 kPa, $T_0 = 20^\circ\text{C}$, dengan kelembaban 10%. Polaritas pada V_1 sebesar 3.755 nC dengan MU sebesar 200 MU. Sehingga M_1 dapat dihitung dengan V_1 dibagi dengan MU, dan didapat $M_1 = 0,0188 \text{ nC/MU}$. Untuk perhitungan faktor koreksi suhu dan tekanan adalah:

$$k_{TP} = \frac{(273,2+T)P_0}{(273,2+T_0)P} \quad (4.1)$$

Dengan diketahui $P = 10004 \text{ kPa}$, $T = 24^\circ\text{C}$. Maka diperoleh $k_{TP} = 0,1023$

Untuk faktor koreksi polaritas, rumus yang digunakan adalah:

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (4.2)$$

Dengan besar M_+ 3,755 dan besar M_- 3,787. Dengan demikian faktor koreksi polaritas dapat dihitung, yaitu sebesar 1,0043.

V_1 normal adalah sebesar 400 V dan V_2 reduksi adalah sebesar 100 V, dengan $M_1 = 3,755$ dan M_2 adalah 3.724. Sehingga diperoleh $V_1/V_2 = 4$. Sedangkan M_1/M_2 adalah sebesar 1,0083. Rumus yang digunakan untuk menghitung K_s adalah:

$$K_s = a_0 + a_1 \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right) + a_2 \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \quad (4.3)$$

Dengan $a_0 = 1,022$, $a_1 = -0,3632$, $a_2 = 0,3413$. Sehingga dari rumus di atas dapat dihitung $K_s = 1,0028$. Maka dari hasil tersebut dapat dihitung bacaan dosimeter dalam satuan nC/MU. Penghitungan bacaan dosimeter adalah:

$$M_Q = M_u \cdot k_{TP} \cdot k_h \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (4.4)$$

Diperoleh M_Q adalah sebesar 0,0019342 nC/MU. Dosis serap pada kedalaman Z_{ref} adalah:

$$D_{w,Q}(Z_{ref}) = M_Q N_{D,w,Q_0} k_{Q,Q_0} \quad (4.5)$$

Dari persamaan di atas dosis serap pada kedalaman Z_{ref} sebesar 0,0099407 Gy/MU. Dosis serap pada kedalaman dosis maksimum, Z_{maks} dapat dihitung dengan:

$$(Z_{maks}) = \frac{100 D_{w,Q}(Z_{ref})}{PDD(Z_{ref})} \quad (4.6)$$

Dengan PDD (Z_{ref}) adalah 99,46 %, diperoleh dosis pada kedalaman maksimum, Z_{maks} , adalah 0,009995 Gy/MU.

Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil di atas dapat dilihat dari persamaan pada rumus yang digunakan, diantaranya antara lain jenis elektrometer, tekanan, suhu, atenuasi terhadap udara, air, bahan fantom, kesalahan paralaks ketika mengukur SSD serta ketinggian air, perambatan kesalahan ketika melakukan penghitungan yang diakibatkan oleh pembulatan-pembulatan angka, dan lain-lain.

4.2 Kalibrasi Film Gafchromic EBT 2

Kalibrasi film Gafchromic EBT 2 dilakukan menggunakan film gafchromic berdimensi $4 \times 3 \text{ cm}^2$ yang diletakkan pada $Z_{ref} = (0,6 \times R_{50}) - 0,1$. Dosis kalibrasi elektron yang digunakan adalah 10 cGy – 1000 cGy. *Background* film gafchromic yang digunakan memiliki densitas optik 0,12. Pada pembacaan densitas optik film Gafchromic menggunakan densitometer masing-masing film dibaca sebanyak tiga kali. Dari ketiga kali pembacaan tersebut diambil rata-

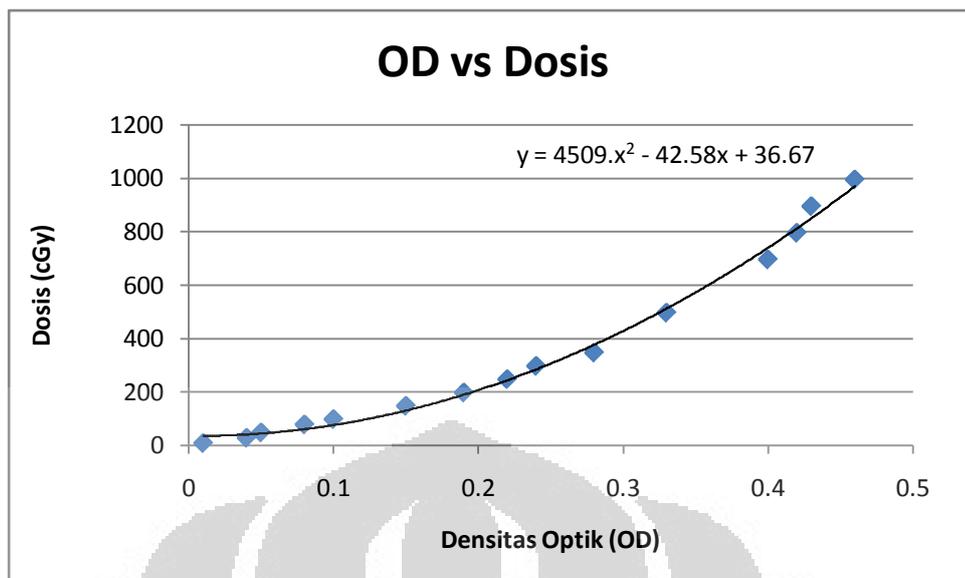
ratanya. Jadi di dalam penghitungan, nilai densitas film yang digunakan adalah rata-rata densitas film yang terbaca dikurangi dengan nilai densitas *background* film Gafchromic. Pada tabel di bawah selisih antara densitas film yang terbaca dengan densitas *background* film diberi lambang OD. Pengukuran densitas film bertujuan untuk mendapatkan kurva kalibrasi film Gafchromic, yaitu grafik hubungan OD dengan dosis. Tabel 4.1 berikut adalah hasil pembacaan densitas film:

Tabel 4.1 Densitas Optik Film Gafchromic EBT 2

Dosis (cGy)	OD 1	OD 2	OD 3	OD rata-rata	OD
9.95	0.13	0.13	0.13	0.13	0.01
29.84	0.16	0.16	0.16	0.16	0.04
49.73	0.17	0.17	0.17	0.17	0.05
79.57	0.2	0.2	0.2	0.2	0.08
99.46	0.22	0.22	0.22	0.22	0.1
149.19	0.27	0.27	0.27	0.27	0.15
198.91	0.31	0.31	0.31	0.31	0.19
248.64	0.33	0.33	0.34	0.34	0.22
298.37	0.36	0.37	0.37	0.36	0.24
348.10	0.39	0.39	0.4	0.4	0.28
497.28	0.45	0.46	0.45	0.45	0.33
696.20	0.52	0.51	0.52	0.52	0.4
795.65	0.54	0.54	0.54	0.54	0.42
895.11	0.57	0.58	0.57	0.55	0.43
994.57	0.56	0.56	0.55	0.58	0.46

Keterangan: OD = OD rata - rata – OD *background*; OD *background* = 0.12

Gb. 4.1 berikut ini adalah kurva hubungan densitas optik dengan dosis berdasarkan tabel 4.1. Dapat diketahui persamaan polinomial pada kurva berikut ini. Pada persamaan diketahui “y” sebagai dosis dan “x” sebagai densitas optik. Sehingga dengan persamaan ini dapat dicari berapakah besar dosis jika suatu densitas optik film Gafchromic diketahui.



Gb. 4.1 Kurva OD vs Dosis

4.3 Kurva PDD

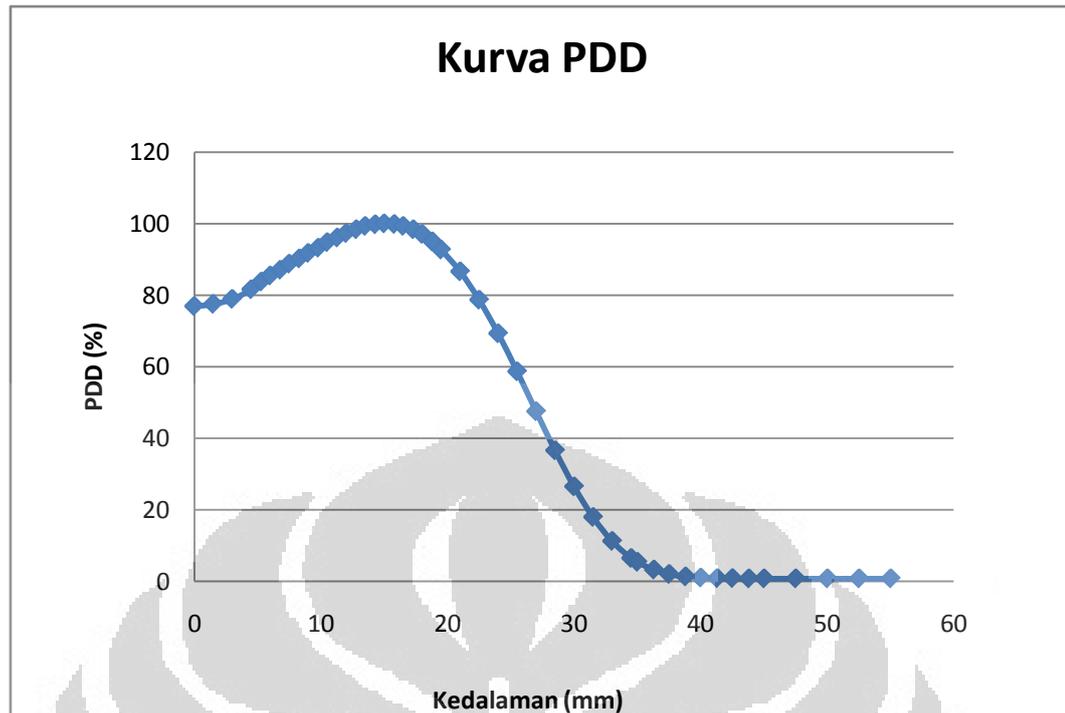
Kurva PDD (*Percent Depth Dose*) menunjukkan persentase dosis yang diterima oleh pasien pada kedalaman tertentu. Pada kurva PDD, kedalaman dosis maksimum memiliki nilai 100%. Besar PDD berbeda pada masing-masing lapangan dan berbeda juga untuk masing-masing energi. Tabel PDD dapat dilihat pada lampiran.

4.3.1 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$

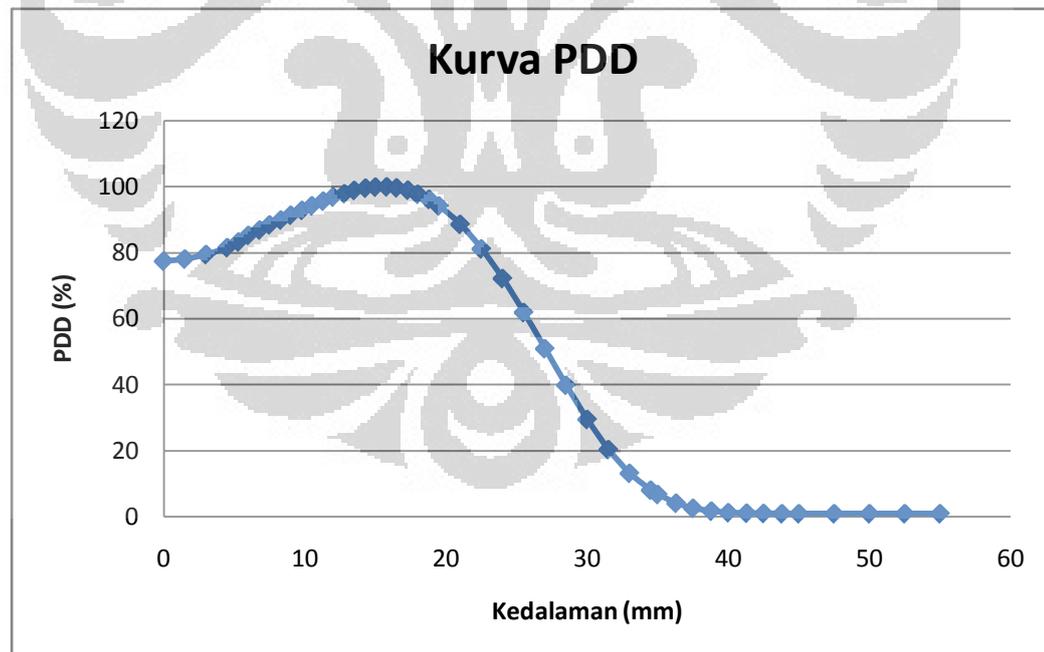
Gambar 4.2 menunjukkan kurva PDD yang terbentuk pada elektron 6 MeV untuk lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Dosis 100% terjadi pada kedalaman 15 mm. Dengan menggunakan kurva PDD, dapat dihitung besarnya persentase dosis pada kedalaman tertentu.

4.3.2 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan $14 \times 14 \text{ cm}^2$

Gambar 4.3 menunjukkan kurva PDD untuk elektron 6 MeV lapangan $14 \times 14 \text{ cm}^2$. Kedalaman dosis maksimum terjadi pada 15,8 mm. Dengan menggunakan kurva PDD, dapat diukur persentase dosis pada kedalaman tertentu.



Gb. 4.2 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 10 x 10 cm²



Gb. 4.3 Kurva PDD Elektron 6 MeV Lapangan 14 x 14 cm²

4.4 Pengukuran Dosis Menggunakan Film Gafchromic pada Permukaan Fantom

4.4.1 Lapangan 10 x 10 cm²

Pengukuran dosis menggunakan film Gafchromic dilakukan pada lapangan 10 x 10 cm². Kalibrasi dilakukan dengan meletakkan film di permukaan fantom dan diberikan paparan dosis sebesar 200 MU. Energi yang digunakan adalah elektron 6 MeV, SSD 100 cm. Nilai densitas film Gafchromic dapat diketahui pada tabel 4.2 dengan besar OD adalah 0,16.

Tabel 4.2 Densitas Optik Kalibrasi Film pada Lapangan 10 x 10 cm²

Dosis dmax (cGy)	OD 1	OD 2	OD 3	OD rata-rata	OD
200	0.28	0.28	0.28	0.28	0.16

Keterangan: OD = OD rata - rata – OD *background*; OD *background* = 0.12

Dengan memasukkan nilai densitas optik 0.16 pada kurva kalibrasi film Gafchromic, didapat dosis sebesar 145,29 cGy. Dengan menggunakan PDD, diperoleh dosis permukaan sebesar 153,84 cGy. Perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah 5,56%.

4.4.2 Lapangan 14 x 14 cm²

Pengukuran dosis pada permukaan juga dilakukan untuk lapangan 14 x 14 cm². Kalibrasi dilakukan dengan meletakkan film di permukaan fantom dan diberikan paparan dosis sebesar 200 MU. Energi yang digunakan adalah elektron 6 MeV, SSD 100 cm. Nilai densitas film Gafchromic dapat diketahui pada tabel 4.3 dengan besar OD adalah 0,16.

Tabel 4.3 Densitas Optik Kalibrasi Film pada Lapangan 14 x 14 cm²

Dosis dmax (cGy)	OD 1	OD 2	OD 3	OD rata-rata	OD
200	0.28	0.28	0.29	0.28	0.16

Keterangan: OD = OD rata - rata – OD *background*; OD *background* = 0.12

Dengan memasukkan nilai densitas optik 0.16 pada kurva kalibrasi film Gafchromic, didapat dosis sebesar 145,29 cGy. Dengan menggunakan PDD, diperoleh dosis permukaan sebesar 154,92 cGy. Perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah 6,22%.

4.5 Dosimetri *In Vivo* pada Pasien

4.5.1 Elektron 6 MeV, Lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$

Pasien berikut ini adalah pasien kanker payudara bagian kanan. Energi yang digunakan adalah elektron 6 MeV. Dosis target yang digunakan adalah 200 cGy. Penyinaran dilakukan pada sudut gantri yang digunakan adalah 286° . Gambar 4.4 merupakan kurva isodosis pada pasien kanker payudara.



Gb 4.4 Kurva Isodosis Kanker Payudara

Tabel 4.4 adalah hasil pembacaan densitas film pada pasien. Densitas optik yang diperoleh adalah 0.16.

Tabel 4.4 Densitas Optik Dosimetri *In Vivo* pada Lapangan 10 x 10 cm²

dosis (cGy)	OD 1	OD 2	OD 3	OD rata-rata	OD
200	0.27	0.28	0.28	0.28	0.16

Keterangan: OD = OD rata - rata – OD *background*; OD *background* = 0.12

Berdasarkan persamaan kurva kalibrasi film Gafchromic, dengan memasukkan OD sebesar 0.16, diperoleh dosis sebesar 145,29 cGy. Dengan PDD, diperoleh perhitungan dosis permukaan sebesar 153,84 cGy. Perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah 5,56%. Perbedaan tersebut disebabkan adanya hamburan elektron serta adanya pergerakan elektron yang tidak stabil.

4.5.2 Lapangan 14 x 5 cm²

Pasien berikut ini adalah pasien kanker payudara. Energi yang digunakan adalah elektron 6 MeV. Dosis target yang digunakan adalah 200 cGy. Penyinaran dilakukan pada sudut gantri yang digunakan adalah 0°. Pasien ini menggunakan blok untuk mendapatkan lapangan yang sesuai dengan perencanaan pada TPS.

Tabel 4.5 adalah hasil pembacaan densitas film pada pasien. Densitas optik yang diperoleh adalah 0.17.

Tabel 4.5 Densitas Optik Dosimetri *In Vivo* pada Lapangan 14 x 5 cm²

Dosis (cGy)	OD 1	OD 2	OD 3	OD rata-rata	OD
200	0.29	0.29	0.29	0.29	0.17

Keterangan: OD = OD rata - rata – OD *background*; OD *background* = 0.12

Berdasarkan persamaan kurva kalibrasi film Gafchromic, dengan memasukkan OD sebesar 0.17, diperoleh dosis sebesar 159,74 cGy. Dengan PDD, diperoleh dosis permukaan sebesar 154,92 cGy. Perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah 3,11%. Perbedaan tersebut disebabkan adanya hamburan elektron serta adanya pergerakan elektron yang tidak stabil dan penggunaan blok oleh pasien pada saat terapi elektron.

4.6 Perbedaan Dosis Permukaan

Dari data di atas diperoleh perbedaan dosis permukaan yang diterima pasien. Tabel 4.5 adalah tabel dosis permukaan berdasarkan dosis TPS dan dosis film. Persentase perbedaan dosis yang diterima pasien 1 dengan dosis kalibrasi film sama besar yaitu 5,56%.

Sedangkan persentase perbedaan dosis yang diterima pasien 2 adalah 3,11%. Pada kalibrasi film, perbedaan dosis adalah sebesar 6,22%. Perbedaan dosis ini disebabkan karena pengaruh hamburan elektron. Selain itu juga karena adanya faktor penggunaan blok pada pasien.

Tabel 4.6 Penyimpangan Dosis Permukaan

Keterangan	Lapangan	Dosis TPS (cGy)	Dosis Film (cGy)	Persentase (%)
Kalibrasi film 1	10 x 10 cm ²	153.84	145.29	5.56
Kalibrasi film 2	14 x 14 cm ²	154.92	145.29	6.22
Pasien 1	10 x 10 cm ²	153.84	145.29	5.56
Pasien 2	14 x 5 cm ²	154.92	159.74	3.11

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang didapat berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang ada pada bab sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Kurva yang terbentuk antara densitas optik film Gafchromic EBT 2 dengan MU untuk elektron 6 MeV adalah kurva polinomial, dengan persamaan:
$$y = 4509 x^2 - 42.58 x + 36.67$$
2. Pada lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$, perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah sebesar 5,56%. Pada lapangan $14 \times 5 \text{ cm}^2$, perbedaan dosis permukaan menggunakan film Gafchromic dengan hasil perhitungan adalah sebesar 3,11%.
3. Film Gafchromic EBT 2 dapat dipakai sebagai dosimeter untuk mengukur dosis permukaan selain detektor dioda, TLD, dll.

Saran yang disampaikan penulis adalah:

1. Penelitian ini dapat dilanjutkan untuk mengestimasi dosis pada target.
2. Metode ini dapat digunakan untuk verifikasi pasien.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chang, Raymond. (1991). *KIMIA DASAR Edisi Ketiga: Konsep-Konsep Inti*. PT Erlangga: Jakarta.
2. Wikipedia. (2010). *Peluruhan Radioaktif*. Oktober 8, 2010. Pk. 10.43
WIB. http://id.wikipedia.org/wiki/Peluruhan_Radioaktif
3. Cember, Herman. (1983). Pengantar Fisika Kesehatan (Drs. Achmad Toekiman, M.Ed, Penerjemah.), 4: 76-88. Semarang: IKIP Semarang Press.
4. Van Dam, Jan. (2006). *Methods for in vivo dosimetry in external radiotherapy*. University hospital Gasthuisberg, leuven , Belgium.
5. Infonuklir. (2010). *Interaksi Radiasi dengan Materi*. November 7, 2010. Pk. 16.20. WIB.
http://www.infonuklir.com/read_more/read/ipteknuklir/second/14e1a6-1/Interaksi_Radiasi_dengan_Materi
6. Scribd. (2010). *Dosimetri* . November 1, 2010. Pk. 15.39. WIB.
www.scribd.com/doc/40521678/dosimetri01
7. Estro Booklet_1_II version. (2005). *Methods For In Vivo Dosimetry In External Radiotherapy*. November 8, 2010. Pk. 19.21 WIB.
8. International Specialty Products. (2009). Gafromic EBT 2-Self Developing Film for Radiotherapy Dosimetry. November 3, 2010. Pk. 14.10 WIB.
9. International Atomic Energy Agency. (2000). Technical Reports series No. 398: Absorbed Dose Determination In external Beam Radiotherapy, 7: 84-101. Vienna: Author.