



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**ANALISIS BACKSCATTER FACTOR TLD-100 TERHADAP VARIASI  
TEGANGAN TABUNG SINAR-X MENGGUNAKAN PROGRAM  
EGS<sub>nrc</sub> PADA MEDIUM PENGHAMBUR AIR DAN AKRILIK**

**SKRIPSI**



**THRIANDI SUANDANA  
06 135 046**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2011**

## ABSTRAK

Telah dilakukan analisis *backscatter factor* TLD-100 terhadap variasi tegangan tabung sinar-X menggunakan program EGSnrc pada medium penghambur air dan akrilik. Penelitian dilakukan dengan menentukan geometri *phantom*, material *phantom* yang terdiri dari udara, air dan akrilik serta TLD-100 di dalam program EGSnrc. Data diperoleh dari 9 variasi tegangan yang dimulai dari 40 kV hingga 150 kV, tegangan merupakan data masukan. Pada tegangan 50, 80 dan 90 kV tidak bisa diperoleh *dose output*. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *backscatter factor* pada medium penghambur air dan akrilik untuk tegangan 40 kV sampai 150 kV mengalami kenaikan yaitu pada air dari 1,204 sampai 1,434 dan pada akrilik dari 1,304 sampai 1,526. Serta nilai *backscatter factor* yang didapatkan dengan simulasi mendekati nilai *backscatter factor* yang ada pada TRS No.457 keluaran IAEA (*International Atomic Energy Agency*).

Kata kunci : *Backscatter factor*, EGSnrc, *Phantom*, X-ray, TLD-100, TRS No.457



## ABSTRACT

Analysis backscatter factor TLD-100 to the X-ray tube voltage variation using EGSnrc software in the scatter medium water and acrylic. The research has been done with determination of phantom geometry, phantom materials; air, water and acrylic and TLD-100 in EGSnrc. The data were taken from 9 X-ray tube voltage variations starting from 40 kV to 150 kV, so the voltage value are as input data. At voltages of 50, 80 and 90 kV can not be obtained dose output. The result shows that backscatter value of water and acrylic for voltage from 40 to 150 kV is increased in water from 1.204 to 1.434 and the acrylic from 1.304 to 1.526 .The backscatter values obtained using simulation are not too different from backscatter values on TRS (Technical Report Series) No.457 output IAEA (International Atomic Energy Agency).

Key words : *Backscatter factor*, EGSnrc, *Phantom*, X-ray, TLD-100, TRS No.457



## KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim...

Alhamdulillah Robbil Alamin, Segala puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT, atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir yang berjudul **Analisis Backscatter Factor TLD-100 Terhadap Variasi Tegangan Tabung Sinar-X Menggunakan Program EGSnrc pada Medium Penghambur Air dan Akrilik**. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sains program S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pihak yang telah ikut membimbing, membantu dan mendoakan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Kedua orang tua, terimakasih untuk semua doa yang tak pernah putus, kasih sayang, semangat, bantuan dan dorongan. Unang, Abang, Uwan, Tante, terimakasih banyak atas motivasi, semangat dan bantuan sehingga skripsi ini dapat selesai dan berjalan lancar.
2. Ibu Dian Milvita, M.Si sebagai pembimbing utama yang telah memberikan waktu, pikiran, petunjuk, saran dan bantuan selama penyelesaian skripsi serta motivasi dan nasihat.

3. Bapak Heru Prasetyo, M.Si sebagai pembimbing kedua yang telah memberi petunjuk, saran, arahan, bantuan serta kemudahan-kemudahan selama pengajaran dalam penggunaan program hingga penulisan skripsi.
4. Ketua jurusan Fisika FMIPA UNAND, seluruh dosen dan karyawan jurusan FMIPA UNAND yang telah memberikan pendidikan dan bantuan selama di jurusan Fisika FMIPA UNAND.
5. Karyawan BATAN, khususnya di PTKMR ; Bu Helfi, Bu Dyah, Bu Yati, Bu Nunung, Pak Eko, terima kasih atas sambutan yang hangat, arahan, bantuan, bimbingan, batuan dan saran yang telah diberikan selama proses pembelajaran di PTKMR, BATAN, Jakarta.
6. Untuk Sahabat-sahabatku, terima kasih atas segalanya. Berkat segala kebaikan yang telah kalian berikan, akhirnya skripsi ini dapat selesai dan berjalan lancar.
7. Untuk teman-teman  $\Phi$ 6-XBRAINDS, senior dan juniorku, trima kasih atas do'a dan semangat selama perkuliahan.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Demikianlah, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua pihak. Amin.

Padang, Agustus 2011

Penulis

# DAFTAR ISI

Halaman

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Landasan Teori .....	6
2.2.1 Sinar-X .....	6
2.2.2 <i>Air Kerma (Kerma Udara)</i> .....	7
2.2.3 <i>Thermoluminescence Dosimetre (TLD)</i> .....	10
2.2.4 <i>EGSnrc (Electron-Gamma-Shower national research Council of Canada)</i> .....	13
2.2.5 <i>TRS (Technical Reports Series) No. 457</i> .....	14

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Lokasi Penelitian .....	20
3.2 Peralatan Penelitian .....	20
3.3 Tata Laksana Penelitian .....	22
3.4 Diagram Alir .....	23
3.4 Pengolahan Data .....	24

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 <i>Dose Output</i> TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Udara .....	25
4.2 <i>Dose Output</i> TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Air .....	27
4.3 <i>Dose Output</i> TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Akrilik .....	29
4.4 <i>Backscatter Factor</i> TLD-100 pada Medium Penghambur Air dan Akrilik .....	30
4.4.1 <i>Backscatter Factor</i> TLD-100 pada Medium Penghambur Air .....	30
4.4.2 <i>Backscatter Factor</i> TLD-100 pada Medium Penghambur Akrilik .....	31
4.5 Perbandingan Antara <i>Backscatter Factor</i> TLD-100 pada Medium Penghambur Air dan Akrilik Terhadap Tegangan Tabung sinar-X .....	33

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran .....	35

<b>DAFTAR KEPUSTAKAAN</b> .....	36
---------------------------------	----

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Karakteristik seri kualitas radiasi RQR .....	15
Tabel 3.1 Data tegangan masukan .....	21
Tabel 4.1 <i>Dose Output</i> TLD-100 pada medium penghambur udara .....	25
Tabel 4.2 <i>Dose Output</i> TLD-100 pada medium penghambur air .....	27
Tabel 4.3 <i>Dose Output</i> TLD-100 pada medium penghambur akrilik .....	29
Tabel 4.4 <i>Backscatter factor</i> TLD-100 pada medium penghambur air .....	31
Tabel 4.5 <i>Backscatter factor</i> TLD-100 pada medium penghambur akrilik ....	32





## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema tabung sinar-X .....	7
Gambar 2.2 Diagram pengukuran <i>air kerma</i> , <i>incident air kerma</i> dan <i>entrance surface air kerma</i> pada pesawat sinar-X .....	9
Gambar 2.3 <i>Phantom</i> kubus akrilik .....	17
Gambar 2.4 Hamburan Compton .....	18
Gambar 3.1 Tata laksana penelitian .....	22
Gambar 3.2 Diagram Alir .....	23
Gambar 4.1 Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap <i>dose output</i> pada medium penghambur udara .....	26
Gambar 4.2 Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap <i>dose output</i> pada medium penghambur air .....	28
Gambar 4.3 Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap <i>dose output</i> pada medium penghambur akrilik .....	29
Gambar 4.4 Perbandingan <i>backscatter factor</i> TLD-100 pada medium penghambur air dan akrilik terhadap variasi tegangan tabung Sinar-X .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Backscatter factor* dan HVL pada TRS No. 457

Lampiran 2. Langkah-langkah menjalankan program



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Radiasi dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan kemampuan ionisasi, yaitu radiasi bukan pengion dan radiasi pengion. Radiasi bukan pengion tidak dapat menyebabkan ionisasi pada materi yang dikenainya, salah satu radiasi bukan pengion yaitu cahaya tampak. Radiasi pengion dapat menyebabkan ionisasi pada materi yang dikenainya. Radiasi pengion sangat berbahaya bagi tubuh dan tidak dapat dirasakan langsung oleh sistem panca indera manusia. Oleh karena itu dibutuhkan suatu alat yang dapat mendeteksi keberadaan radiasi pengion. Alat ini disebut detektor ionisasi (Akhadi, 2000). Salah satu jenis detektor ionisasi adalah *Thermoluminescence Dosimeter (TLD)*-100.

TLD menggunakan LiF (*Lithium Fluoride*) sebagai bahan dasarnya. Masing-masing TLD memiliki respon jika dikenai radiasi pengion. Respon TLD dapat dibaca dengan alat *TLD-reader* (Akhadi, 2000). Hasil bacaan TLD sebanding dengan dosis radiasi yang diterima. Jika TLD semakin sering digunakan dalam menentukan nilai respon, maka nilai responnya akan semakin besar karena berkurangnya jumlah fosfor dan berubahnya sifat optik bahan TLD tersebut (Akhadi, 2000). Maka untuk menghasilkan nilai respon TLD yang tidak tergantung kepada jumlah pemakaian TLD tersebut, dibutuhkan suatu program yang dapat digunakan untuk menghitung respon TLD. Selain itu, nilai bacaan TLD juga dipengaruhi oleh *backscatter factor*. *Backscatter factor* merupakan

hasil perbandingan antara dosis radiasi yang terukur di medium *phantom* dengan dosis radiasi yang terukur di udara. Saat radiasi mengenai suatu medium *phantom*, ada sebagian dari radiasi tersebut yang dihamburkan oleh medium *phantom* sehingga dosis radiasi terhambur mempengaruhi bacaan TLD. Nilai *backscatter factor* suatu medium berbeda dengan medium lainnya.

Program EGSnrc (*Electron-Gamma-Shower National Research Council of Canada*) digunakan dalam penelitian yang berkaitan dengan fisika medis, terutama mensimulasikan pengukuran dosis radiasi. Pengukuran dosis radiasi secara simulasi menggunakan program EGSnrc memiliki kelebihan pada hasil bacaan dosis radiasi yang konstan meskipun dilakukan berulang kali jika dibandingkan dengan pengukuran secara eksperimen serta tanpa berhubungan langsung dengan radiasi sehingga dapat mengurangi resiko terkena paparan radiasi. Program EGSnrc mensimulasikan transpor radiasi elektron dan foton di dalam materi sehingga penggunaan program EGSnrc tidak membutuhkan sumber radiasi dan peralatan.

Banyaknya jenis radiasi mengakibatkan nilai respon TLD bervariasi. Variasi respon pada TLD merupakan salah satu sumber penyebab terjadinya kesalahan dalam interpretasi dosis radiasi. Kesalahan dalam interpretasi dosis radiasi dapat pula menyebabkan kesalahan dalam mendiagnosa suatu penyakit yang merugikan dan berbahaya bagi pasien. Penggunaan program EGSnrc dalam mengukur respon TLD-100 secara simulasi tidak akan mengurangi fosfor pada TLD-100 sehingga tidak mempengaruhi respon TLD-100 dan dapat menekan kesalahan dalam interpretasi dosis radiasi. Penelitian yang dilakukan adalah



pengukuran dosis radiasi secara simulasi pada TLD-100 di udara, *phantom* air dan akrilik sebagai pengganti tubuh pasien. Penelitian ini perlu dilakukan agar dapat diketahui seberapa besar *backscatter factor* yang mempengaruhi hasil bacaan respon TLD-100 pada medium penghambur air dan akrilik.

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian adalah mengetahui nilai *backscatter factor* TLD-100 menggunakan program EGSnrc terhadap variasi tegangan masukan antara 40 kV hingga 150 kV pada medium penghambur air dan akrilik.

### **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian adalah :

1. Memberikan panduan kepada para peneliti dalam pembacaan nilai respon pada alat ukur TLD-100 dan *backscatter factor* menggunakan program EGSnrc.
2. Memperkenalkan program EGSnrc yang dapat digunakan untuk penelitian lainnya.
3. Sebagai pembandingan bagi peneliti lain yang melakukan penelitian tentang analisis *backscatter factor* secara eksperimen.

#### 1.4 Batasan Masalah

Analisis nilai *backscatter factor* TLD yang dilakukan pada penelitian dibatasi pada pemilihan TLD yaitu TLD-100 dan menggunakan program EGSnrc dalam rentang tegangan masukan antara 40 kV hingga 150 kV serta pada dua medium penghambur yaitu air dan akrilik.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang analisis respon TLD terhadap berbagai variabel secara eksperimen telah banyak dilakukan. Pengukuran respon TLD-100 terhadap variasi jarak dan variasi arah sudut datang berkas radiasi pesawat terapi cobalt-60 pernah dilakukan oleh Ramadhani pada tahun 2008. Hasil yang diperoleh adalah nilai respon TLD-100 akan mengalami kenaikan jika jarak SSD (*Source to Surface Distance*) yang diberikan semakin kecil serta sudut yang diberikan semakin besar. Pengukuran respon TLD-100 juga pernah dilakukan oleh Inike Puspita Sari pada tahun 2008. Tetapi dengan variabel yang berbeda, yaitu terhadap variasi dosis radiasi, variasi luas lapangan dan menentukan faktor koreksi dari masing-masing variasi. Hasil yang diperoleh adalah nilai dosis radiasi dan bacaan TLD-100 akan mengalami kenaikan pada saat dilakukannya variasi dosis radiasi pesawat cobalt-60 serta respon TLD-100 akan berubah terhadap perubahan luas lapangan.

Beberapa penelitian yang dilakukan menggunakan program EGSnrc menunjukkan bahwa penggunaan program EGSnrc dapat meningkatkan efisiensi pengukuran. Pengukuran dosimetri sumber brakiterapi dosis tinggi GammaMed (GM) Plus yang dilakukan dengan eksperimen dan dibandingkan dengan simulasi menggunakan program EGSnrc pernah dilakukan oleh Patel dkk pada tahun 2010.



Hasil yang diperoleh adalah data dosimetrik yang dihasilkan dari simulasi EGSnrc sesuai dengan data yang telah dipublikasi untuk sumber GM Plus.

Penelitian tentang analisis *backscatter factor* TLD-100 menggunakan program EGSnrc belum pernah dilakukan hingga saat ini. Penelitian yang dilakukan yaitu menganalisis nilai *backscatter factor* TLD-100 terhadap variasi tegangan tabung sinar-X pada medium penghabur air dan akrilik dalam rentang 40 kV hingga 150 kV menggunakan program EGSnrc.

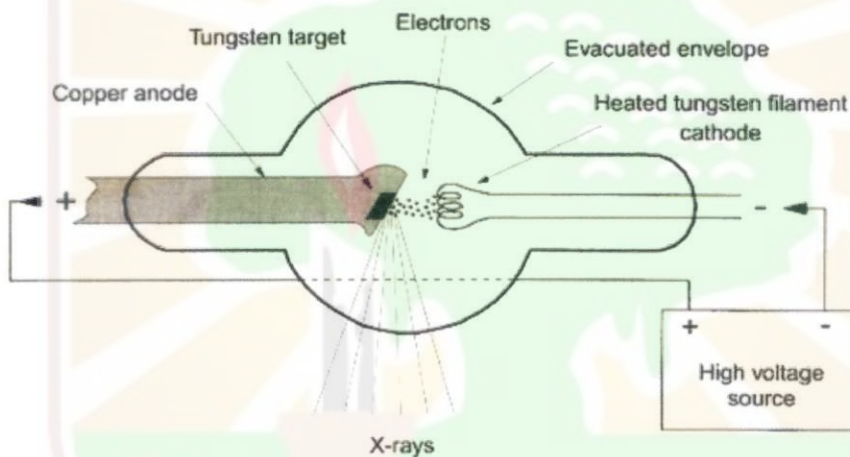
## 2.2. Landasan Teori

### 2.2.1. Sinar-X

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh fisikawan berkebangsaan Jerman yang bernama Wilhelm C. Roentgen pada tanggal 8 November 1895. Penemuan tersebut membuat perubahan yang besar dalam perkembangan dunia sains dan sangat bermanfaat dalam bidang kesehatan.

Sinar-X dapat diproduksi melalui penembakan target logam dengan proyektil elektron cepat yang dihasilkan oleh pemanasan filamen yang juga berfungsi sebagai katoda dalam suatu tabung vakum sinar katoda. Elektron dari filamen dipercepat gerakkannya menggunakan potensial pemercepat  $V$  (tegangan listrik berorde  $10^2$  hingga  $10^6$  volt) sehingga bertumbukan ke target logam (yang juga berfungsi sebagai anoda) bernomor atom tinggi dan suhu leleh tinggi. Sebagian besar elektron yang jatuh pada target kehilangan energi kinetiknya sedikit demi sedikit melalui berbagai tumbukan, energinya berubah menjadi panas. Namun, sebagian kecil elektron

kehilangan sebagian besar atau seluruh energinya dalam suatu tumbukan tunggal dengan logam target, energi inilah yang berubah menjadi sinar-X. Semakin cepat elektron, kemampuan tembus sinar-X juga semakin besar dan semakin bertambah jumlah elektron, intensitas berkas sinar-X juga semakin besar (Beiser, 1987). Proses terbentuknya sinar-X ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Skema tabung sinar-X  
(Sumber: Akhadi, 2000)

### 2.2.2. Air Kerma (Kerma Udara)

*Kerma* merupakan akronim dari *Kinetic Energy Released in Matter*, dan didefinisikan sebagai sejumlah energi dari foton yang ditransfer ke medium dalam bentuk energi kinetik partikel-partikel bermuatan. Selanjutnya elektron ini akan mengalami tumbukan sepanjang lintasannya (Bushberg dkk, 2002). Dosis radiasi yang diserap oleh medium udara biasa dinyatakan dengan *kerma* udara (*air kerma*). Dalam besaran fisika, definisi *air kerma* (K) adalah jumlah energi kinetik awal semua

partikel pengion bermuatan yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan ( $dE_{tr}$ ) pada suatu bahan dengan massa  $dm$ , satuannya: Gy atau  $\mu\text{Gy}$  (IAEA, 2007). *Air kerma* dinyatakan dengan persamaan (2.1) :

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (2.1)$$

dengan :  $K$  = *Air kerma* (joule/kg = Gray)  
 $dE_{tr}$  = Jumlah energi kinetik awal semua partikel pengion bermuatan yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan (Joule)  
 $dm$  = massa material (kg)

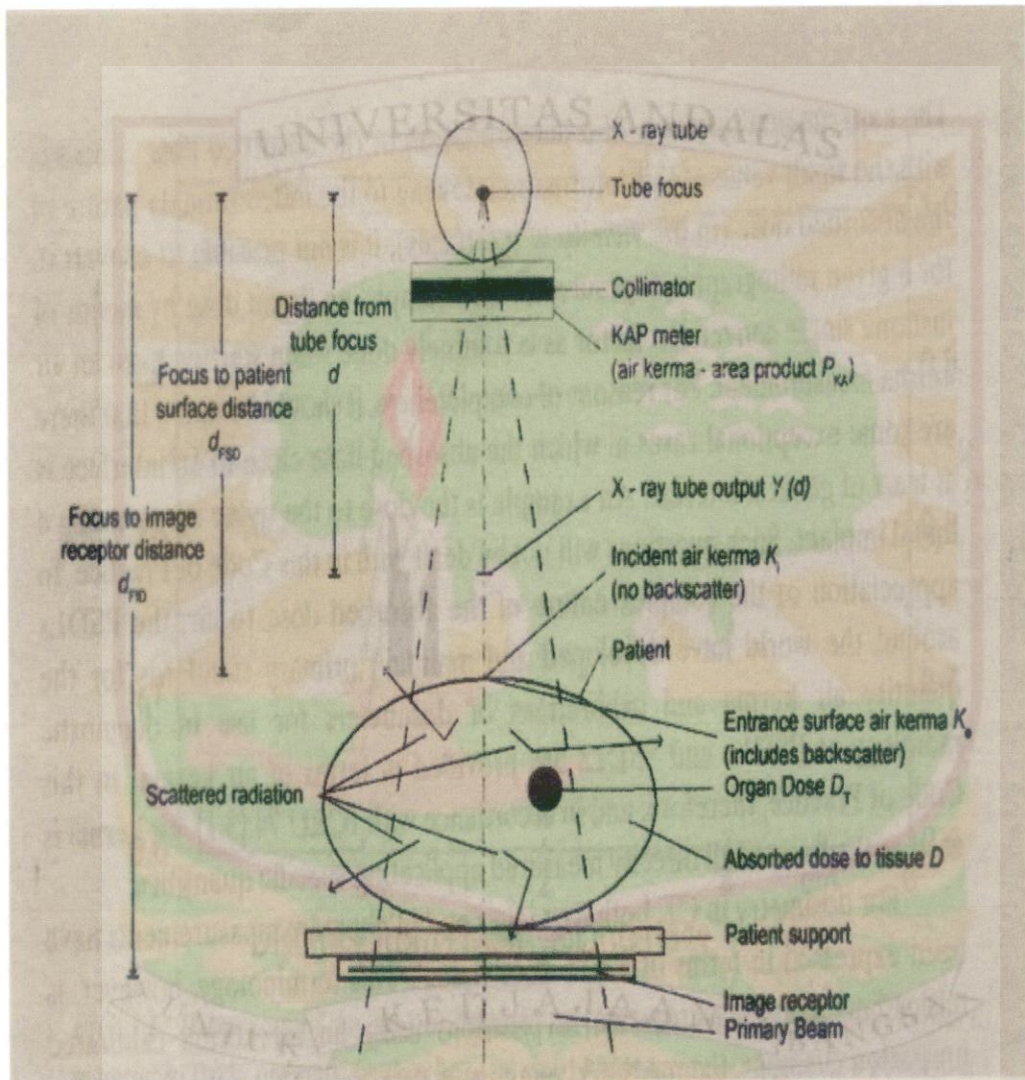
#### *Incident Air Kerma (INAK)*

*Incident Air Kerma (INAK)* adalah *kerma* udara yang diukur pada jarak fokus ke detektor tidak lebih dari 100 cm. Hal ini dilaksanakan untuk menghindari adanya hamburan balik (*backscatter*) pada saat penyinaran. *Incident air kerma* terjadi di titik sesaat akan memasuki sebuah medium.

#### *Entrance Surface Air Kerma (ESAK)*

*Entrance Surface Air Kerma (ESAK)* adalah *kerma* udara dengan koreksi *back scatter factor*. *Entrance surface air kerma* terjadi di titik sesaat setelah memasuki sebuah medium. Dalam TRS 457 keluaran IAEA 2007,

Diagram pengukuran *air kerma*, *incident air kerma*, dan *entrance surface air kerma*, ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram pengukuran *air kerma*, *incident air kerma*, dan *Entrance Surface Air Kerma* pada pesawat sinar-X (Sumber : IAEA 2007)

Hubungan antara *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK) dengan *Incident Air Kerma* (INAK) dengan *backscatter factor* ditunjukkan pada persamaan (2.2) :

$$K_e = K_i \cdot B \quad (2.2)$$

Dengan :  $K_e$  = *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK) (Gy)

$K_i$  = *Incident Air Kerma* (INAK) (Gy)

$B$  = *Backscatter factor*

### 2.2.3. Thermoluminescence Dosimetre (TLD)

Dosimeter merupakan alat ukur dosis radiasi ionisasi. Untuk pemantauan dosis perorangan, manusia mengandalkan pada dosimeter perorangan. Dosimeter perorangan adalah alat pencatat dosis radiasi yang mampu merekam dosis akumulasi yang diterima oleh setiap individu pekerja radiasi. Dosimeter perorangan terbagi tiga, yaitu :

a. Dosimeter saku

Dosimeter saku merupakan jenis dosimeter perorangan yang digunakan secara luas untuk kegiatan rutin pemantauan dosis perorangan. Dikatakan dosimeter saku karena ukuran dosimeter ini cukup kecil dan dalam penggunaannya dapat dimasukkan ke dalam saku pakaian pekerja radiasi.

b. Dosimeter film *badge*

Alat pemantau dosis radiasi perorangan yang sering digunakan adalah film badge. Dosimeter ini menggunakan detektor berupa film fotografi, serta memanfaatkan sifat radiasi ionisasi yaitu menghitamkan pelat film yang dilewatinya.

c. Dosimeter *Thermoluminescence* (TLD)

TLD merupakan salah satu jenis dosimeter pasif yang digunakan untuk pemantauan dosis radiasi perorangan maupun lingkungan. Dibandingkan dengan dosimeter perorangan yang lainnya, TLD memiliki tingkat ketelitian yang lebih dan dapat digunakan berulang kali. Perubahan kelembaban, tekanan udara, dan temperatur normal tidak mempengaruhi TLD. Berbeda dengan film pada *film badge* yang akan berkabut bila dipakai lebih dari satu bulan.

TLD berbentuk zat padat yang dibuat dari bahan kristal yang dapat menghasilkan efek konduktivitas listrik, *fluorescence* dan *thermoluminescence* ketika terkena paparan radiasi pengion. *Luminescence* (luminisensi) merupakan pancaran cahaya tampak oleh suatu bahan fosfor yang terjadi karena adanya elektron-elektron yang menyerap energi radiasi dan kemudian mengalami proses perpindahan ke orbit yang lebih dalam. Bahan fosfor yang memiliki sifat berupa *fluorescence* atau *phosphorescence* pada peristiwa *Luminescence* berada dalam keadaan yang disebut tereksitasi atau terstimulasi. *Fluorescence* adalah bahan yang dapat memancarkan

cahaya secara spontan dan cahaya akan berakhir jika proses eksitasi pada bahan juga berakhir. Sedangkan *phosphorescence* adalah bahan yang dapat memancarkan cahaya dan pancaran akan berakhir beberapa saat setelah proses eksitasi. Peristiwa *phosphorescence* yang terjadi pada bahan fosfor disebut *Thermoluminescence* atau disingkat TL karena mengalami proses pemanasan dari luar. Proses *thermoluminescence* didefinisikan sebagai pancaran cahaya dari suatu benda padat sebagai akibat proses eksitasi yang disebabkan oleh radiasi pengion.

Metode pengukuran radiasi dengan memanfaatkan fenomena *thermoluminescence* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1953. Pada saat itu belum sepenuhnya diketahui bahwa metode termoluminesensi dapat dikembangkan untuk tujuan pemantauan dosis perorangan. Dalam kegiatan rutin pemantauan dosis pekerja, TLD lebih sering dimanfaatkan untuk pemantauan radiasi beta, gamma maupun neutron. Umumnya TLD mampu memberikan tanggapan terhadap sinar-X, sinar gamma, partikel beta dan proton, dengan jangkauan dosis radiasi dari 0,1 mGy sampai dengan kira-kira 1.000 Gy.

Bahan yang paling murah dan paling banyak digunakan untuk pembuatan TLD saat ini adalah LiF (*Litium Fluorida*). Bahan LiF berbentuk polikristal dengan nomor atom efektifnya adalah 8,1, cukup ekuivalen dengan jaringan tubuh manusia yang nilainya 7,4. Secara alamiah dalam keadaan standar LiF mengandung 92,5%  ${}^7\text{Li}$  (hanya peka terhadap foton) dan 7,5%  ${}^6\text{Li}$  (peka terhadap neutron termal dan foton) dengan kepekaan yang relatif sama (Akhadi, 2000).

Kelebihan dalam penggunaan TLD-100 yaitu:

1. Bersifat setara dengan jaringan tubuh manusia (*tissue equivalent*), nomor atom efektif  ${}^7\text{LiF}$  alam hampir sama dengan nomor atom efektif tubuh.
2. Cukup independen terhadap foton dan elektron energi tinggi, kepekaannya cukup linier pada daerah energi tinggi sehingga perubahan energi radiasi tidak mempengaruhi kepekaan TLD.
3. Tidak peka terhadap faktor lingkungan seperti perubahan tekanan, temperatur dan kelembaban selama pengukuran.
4. Mampu merekam dosis radiasi dari rendah hingga tinggi.
5. Proses pembacaan dosis radiasi yang diterimanya dapat dilakukan secara cepat dan banyak diperdagangkan.

Meskipun demikian ada juga kelemahan dari TLD ini, perawatan dan pemeliharaan peralatan memerlukan staf teknis tingkat tinggi, kegagalan proses pembacaan pertama tidak dapat diulang, sehingga informasi akan hilang, tidak ada pencatatan permanen karena proses pembacaan tidak dapat diulang (Keputusan Kepala BAPETEN, 2003).

#### **2.2.4. EGSnrc (*Electron – Gamma – Shower national research council of canada*)**

EGSnrc adalah seperangkat program komputer multiguna memanfaatkan simulasi Monte Carlo untuk mensimulasi transport radiasi elektron dan foton didalam materi pada berbagai kondisi geometri dengan rentang energi antara 1 keV sampai 10 GeV.



Perkembangan EGS diawali dengan EGS3 yang dikembangkan tahun 1970-an oleh Richard Ford dan Ralph Nelson yang fokus kepada pengembangan kode untuk fisika partikel berenergi tinggi di SLAC (*Stanford Linear Accelerator Center*). Kemudian di tahun 1980-an, Ralph Nelson dan Hideo Hirayama (SLAC) serta Dave Rogers di NRC (*National Research Council of Canada*) mengeluarkan EGS4 yang fokusnya dialihkan kepada aplikasi dengan energi rendah.

Kemudian di awal tahun 1990-an, Rogers dan Bielajew mengembangkan sejumlah kode yang relevan untuk dosimetri kamar ion. Pada tahun 1998, Bielajew, Nelson dan KEK Group mengeluarkan EGS5 tetapi penggunaannya hanya untuk pelepasan beta saja. Pada tahun 2000 EGSnrc dibuat dan dikembangkan di Stanford University untuk masalah-masalah yang terkait fisika energi tinggi. Pekerjaan di NRC terfokus pada pengembangan dan pengaplikasian kode untuk masalah yang terkait dengan fisika medis. EGSnrc telah diuji secara ekstensif untuk konsistensi internal dan pengukuran data. Beberapa proses fisika yang dapat disimulasikan dengan EGSnrc antara lain, produksi Bremsstrahlung, anihilasi positron, hamburan partikel bermuatan oleh hamburan Coulomb, dan dosimetri (Kawrakow, 2010).

#### **2.2.5. TRS (*Technical Reports Series*) No. 457**

TRS No. 457 merupakan salah satu panduan yang dikeluarkan oleh IAEA (*International Atomic Energy Agency*) yang bertujuan untuk mendukung pekerjaan-pekerjaan dalam bidang dosimetri radiologi diagnostik, baik dalam laboratorium standar yang berada dalam bidang kalibrasi dosimeter maupun di pusat klinis dan

rumah sakit dimana dosimetri pasien dan jaminan kualitas merupakan sesuatu yang sangat penting. TRS No. 457 ini mencakup situasi dosimetrik yang luas yang sesuai dengan jangkauan pemeriksaan yang didapatkan secara klinis dan termasuk panduan dalam dosimetri untuk radiografi umum, flouroskopi, mammografi, tomografi komputasi dan radiografi dental.

TRS No. 457 memberikan panduan dalam penelitian yaitu pada variasi tegangan tabung sinar-X yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakterisasi seri kualitas radiasi RQR (*Radiation Qualities in a conventional Radiodiagnostic*)

Kualitas radiasi	Tegangan tabung sinar-X (kV)	HVL pertama (mm Al)	Koefisien homogenitas ( <i>h</i> )
RQR 2	40	1,42	0,81
RQR 3	50	1,78	0,76
RQR 4	60	2,19	0,74
RQR 5	70	2,58	0,71
RQR 6	80	3,01	0,69
RQR 7	90	3,48	0,68
RQR 8	100	3,97	0,68
RQR 9	120	5,00	0,68
RQR 10	150	6,57	0,72

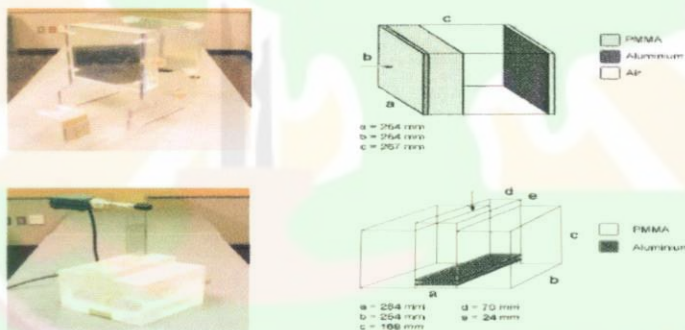
(TRS No. 457 IAEA, 2007)

Variasi tegangan tabung sinar-X pada Tabel 2.1 sesuai dengan ketentuan dari IEC 61267 (*International Electrotechnical Commission*). IEC 61267 merupakan salah satu ketentuan dalam standarisasi untuk menguji prosedur dalam penentuan karakteristik sistem atau komponen dari peralatan sinar-X medis diagnostik (TRS No. 457 IAEA,2007).

TRS No. 457 juga memberikan panduan dalam menentukan *Half Value Layer* (HVL) dan *Backscatter Factor*. HVL adalah tebal bahan atau filter yang diperlukan untuk mengurangi intensitas radiasi elektromagnetik menjadi setengah dari intensitas mula-mula. Kemampuan daya tembus radiasi pesawat radiodiagnostik ditentukan berdasarkan nilai HVL. Semakin tebal nilai HVL berarti daya tembus radiasi yang dihasilkan semakin jauh, selain itu jumlah radiasi energi rendah yang dihasilkan juga lebih sedikit dan dosis yang dihasilkan lebih rendah, hal ini dikarenakan intensitas mula-mula radiasi elektromagnetik terserap sebagian oleh HVL (Susanti, 2007).

*Backscatter factor* merupakan perbandingan antara dosis radiasi yang terukur di medium *phantom* dengan dosis radiasi yang terukur di udara. *Phantom* adalah objek yang digunakan untuk menyerap atau menyebarkan radiasi yang setara dengan pasien dan untuk membantu estimasi dosis radiasi dan sistem pengujian pencitraan tanpa menggunakan pasien. Ada beberapa jenis *phantom* dalam penggunaan pada penelitian, salah satunya yaitu *phantom* kubus akrilik (PMMA) dengan ukuran 30 cm × 15 cm × 30 cm. PMMA atau Poly(methyl methacrylate) ( $C_5O_2H_8$ )<sub>n</sub> merupakan termoplastik transparan, sering digunakan sebagai pengganti kaca karena tidak gampang pecah. PMMA disebut juga kaca akrilik. Secara kimia PMMA merupakan polimer sintesis dari methyl methacrylate. Bahan ini dikembangkan sejak tahun 1928 di beberapa laboratorium dan pertama kali dipasarkan pada tahun 1933 oleh Rohm and Haas Company. PMMA merupakan alternatif ekonomis untuk polikarbonat (PC) karena tidak mengandung bahan berbahaya bisphenol-A yang terdapat di dalam PC.

Selain itu PMMA mudah ditangani dan diproses, murah, dan lebih merata saat diregang dibandingkan kaca anorganik konvensional. Oleh karena itu PMMA digunakan secara luas di banyak bidang, mulai bahan sol sepatu, akuarium, cat akrilik, sampai bahan untuk membuat fiber optik, dan jendela pada mobil, kapal selam dan pesawat udara. Sementara penggunaan PMMA di bidang medis juga sangat luas karena PMMA memiliki tingkat kecocokan yang tinggi dengan jaringan tubuh manusia. PMMA digunakan antara lain sebagai pengganti lensa inokular pada mata, sebagai implan pengganti tulang, bahan phantom, dan bahan untuk membuat gigi palsu.



Gambar 2.3. *Phantom*

(Sumber : TRS No. 457 IAEA, 2007)

*Backscatter factor* muncul akibat adanya hamburan balik (*backscatter*) oleh medium penghambur. Hamburan sinar-X yang terjadi akibat adanya medium penghambur merupakan hamburan Compton. Gejala ini pertama kali diperhatikan oleh Arthur Holly Compton pada tahun 1920. Hamburan Compton menjelaskan tentang tumbukan antara foton dengan elektron. Foton kemudian mengalami

hamburan sehingga menyimpang dari arahnya mula-mula sementara sebagian energi foton mula-mula diberikan kepada elektron dan elektron mulai bergerak. Berkurangnya energi foton mula-mula menyebabkan foton terhambur memiliki frekuensi lebih kecil. Energi yang hilang dari foton sama besar dengan energi yang diterima oleh elektron, sesuai yang ditunjukkan dengan persamaan (2.3):

$$h\nu_i - h\nu_f = K \quad (2.3)$$

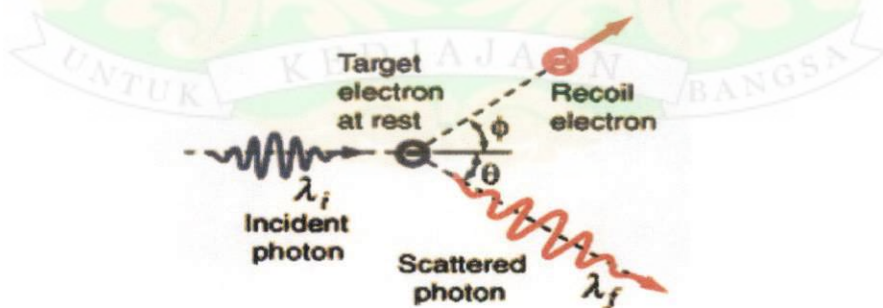
Dimana:

$h$  : konstanta Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)

$\nu_i$  : frekuensi foton mula-mula (Hz)

$\nu_f$  : frekuensi foton terhambur (Hz)

$K$  : energi yang diterima elektron (J)



Gambar 2.4. Hamburan Compton.

(sumber : [http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/Compton\\_effect.html](http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/Compton_effect.html))

Perubahan frekuensi foton karena terhambur menyebabkan perubahan panjang gelombang sinar-X. Hubungan antara perubahan panjang gelombang karena hamburan Compton dengan sudut hamburan ditunjukkan pada persamaan (2.4) :

$$\lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (2.4)$$

Dimana:

$\lambda_f$  : panjang gelombang sinar-X terhambur (m)

$\lambda_i$  : panjang gelombang sinar-X mula-mula (m)

$m_0$  : massa diam elektron ( $9,1 \times 10^{-31}$  kg)

$c$  : kelajuan cahaya di ruang hampa ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\theta$  : sudut hamburan foton

Hamburan balik terjadi saat sudut hamburan  $\theta = 180^\circ$ , yaitu saat seluruh energi foton mula-mula diberikan kepada elektron. Energi maksimum yang diberikan kepada elektron pada efek Compton disebut *Compton-edge*.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas dan di PTKMR BATAN Jakarta.

#### 3.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ada dua jenis, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

##### 1. Perangkat keras (*hardware*)

Komputer dengan spesifikasi

- a. Prosesor Intel Pentium 4
- b. Ram 1 GB DDR2
- c. VGA 256

##### 2. Perangkat lunak (*software*)

- a. EGS Gui digunakan untuk mendefinisikan beberapa material yang ada di sekitar TLD-100 ke dalam simulasi. EGS Gui dapat diunduh pada website <http://irs.inms.nrc.ca/software/egsnrc/download.html> secara gratis.
- b. DOSXYZnrc Gui digunakan untuk mendefinisikan geometri ke dalam simulasi serta mengolah data masukan yang terdiri dari tegangan dan

beberapa material. DOSXYZnrc Gui dapat diunduh pada website <http://irs.inms.nrc.ca/software/beamnrc/download.html> secara gratis.

Sementara data yang digunakan dalam penelitian adalah tegangan sumber radiasi yang bervariasi dalam rentang 40 kV hingga 150 kV. Data tegangan yang dijadikan masukan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data tegangan masukan

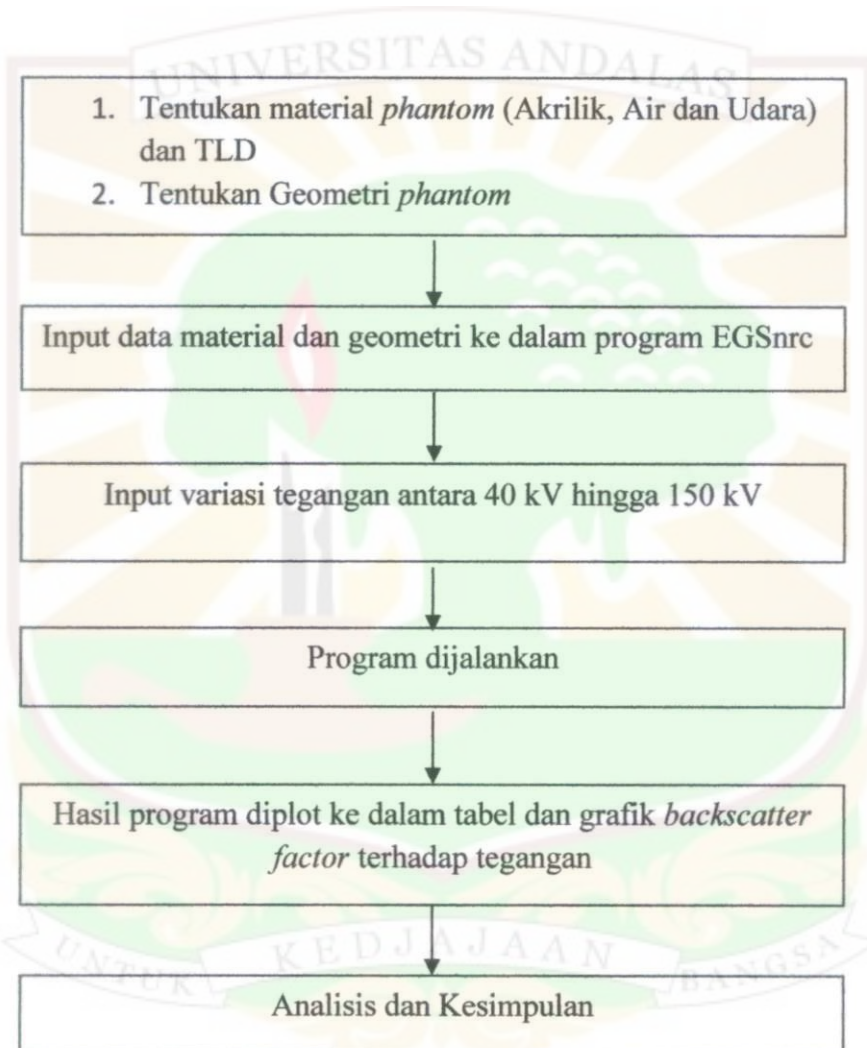
No.	Tegangan (Volt)
1.	$4 \times 10^4$
2.	$5 \times 10^4$
3.	$6 \times 10^4$
4.	$7 \times 10^4$
5.	$8 \times 10^4$
6.	$9 \times 10^4$
7.	$10^5$
8.	$1,2 \times 10^5$
9.	$1,5 \times 10^5$

Variasi tegangan dari 40 kV hingga 150 kV sesuai dengan *Technical Reports Series No. 457 IAEA (International Atomic Energy Agency)* yang merupakan ketentuan dari IEC 61267 (*International Electrotechnical Commission*).



### 3.3. Tata Laksana Penelitian

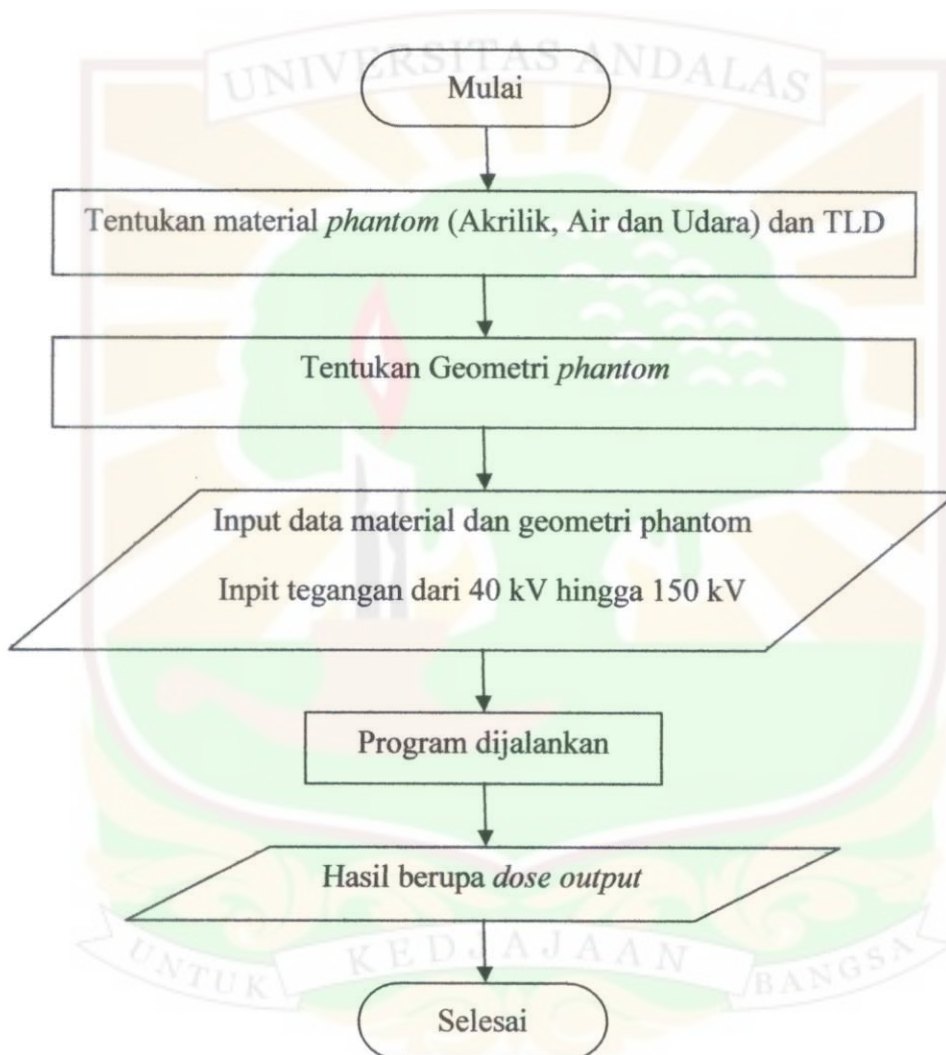
Tata laksana penelitian *backscatter factor* TLD-100 dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tata laksana penelitian

### 3.4. DIAGRAM ALIR

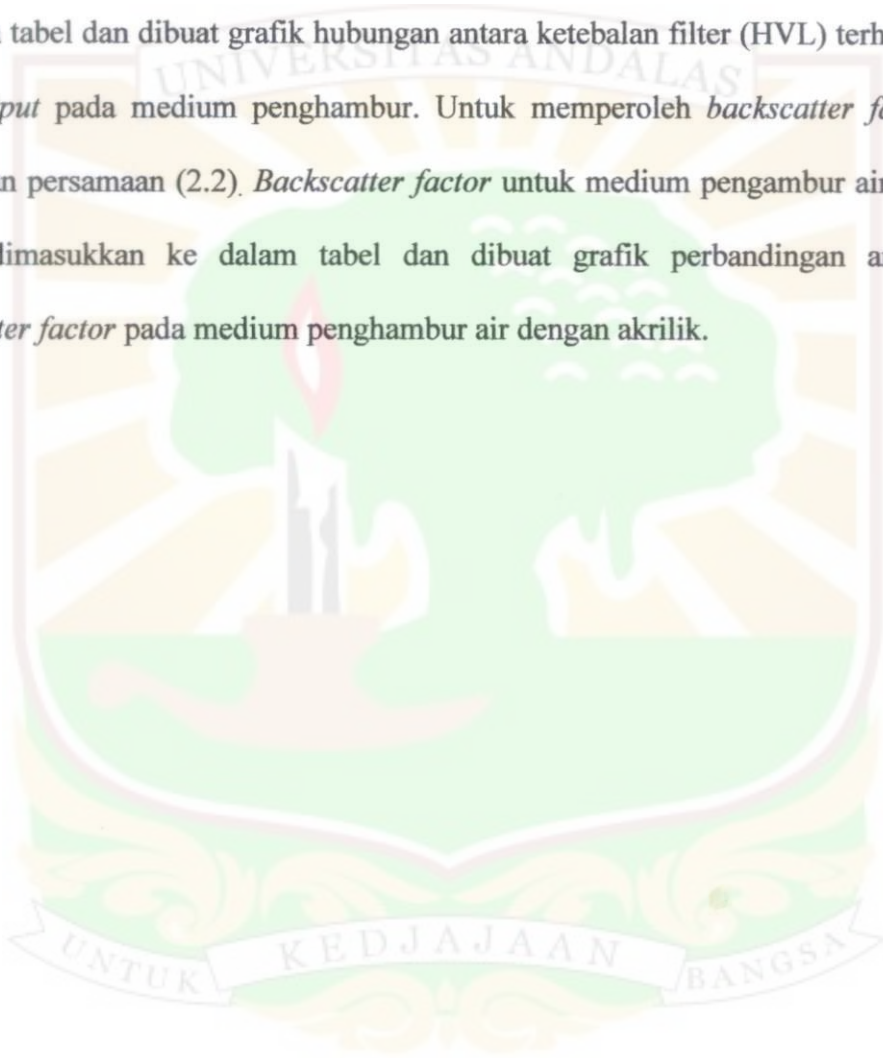
Diagram alir program EGSnrc untuk *dose output* TLD-100 dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram alir program EGSnrc untuk *dose output* TLD-100

### 3.5. PENGOLAHAN DATA

*Dose output* merupakan dosis keluaran yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan program EGSnrc. *Dose output* pada medium penghambur udara dinyatakan dengan  $K_e$ , sedangkan pada medium penghambur air dan akrilik dinyatakan dengan  $K_i$ . *Dose output* untuk ketiga medium penghambur dimasukkan ke dalam tabel dan dibuat grafik hubungan antara ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur. Untuk memperoleh *backscatter factor* digunakan persamaan (2.2). *Backscatter factor* untuk medium penghambur air dan akrilik dimasukkan ke dalam tabel dan dibuat grafik perbandingan antara *backscatter factor* pada medium penghambur air dengan akrilik.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian tentang analisis *backscatter factor* TLD-100 terhadap variasi kualitas tegangan tabung sinar-X menggunakan program EGSnrc pada medium penghambur air dan akrilik, maka didapatkan *dose output* TLD-100 yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3. *Dose output* merupakan dosis keluaran yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan program EGSnrc. *Dose output* pada medium penghambur udara nyatakan dengan  $K_e$ , sedangkan pada medium penghambur air dan akrilik dinyatakan dengan  $K_i$ . Untuk memperoleh *backscatter factor* digunakan persamaan (2.2) pada Bab II.

#### 4.1. *Dose Output* TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Udara

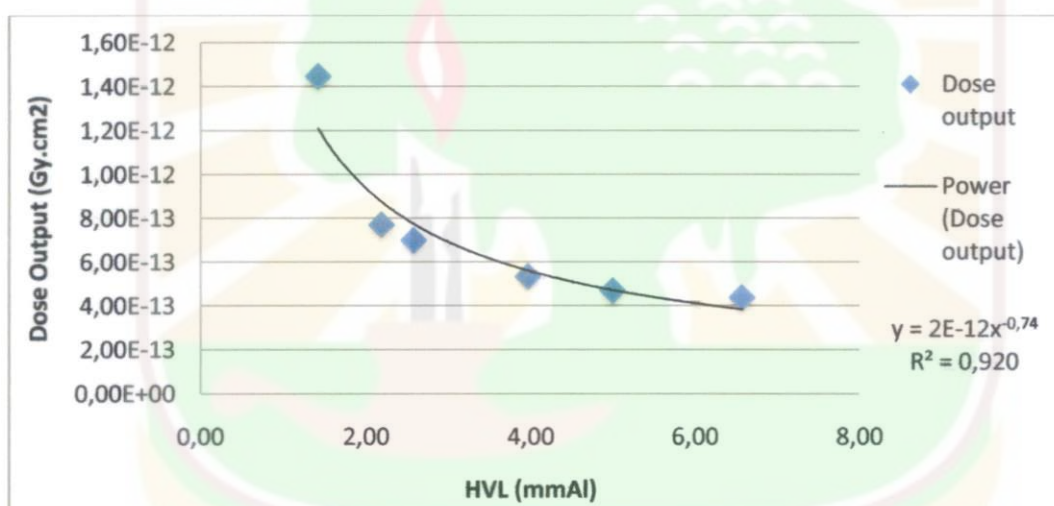
*Dose output* TLD-100 dan HVL pada medium penghambur udara ditunjukkan pada Tabel 4.1. *Dose output* diperoleh dari hasil keluaran program Dosxyznrc\_gui.

Tabel 4.1. *Dose output* TLD-100 pada medium penghambur udara.

Kualitas radiasi	Tegangan tabung (kV)	HVL (mm)	$K_i$ (Gy.cm <sup>2</sup> )
RQR 2	40	1,42	$14,5 \times 10^{-13}$
RQR 3	50	1,78	*
RQR 4	60	2,19	$7,71 \times 10^{-13}$
RQR 5	70	2,58	$6,99 \times 10^{-13}$
RQR 6	80	3,01	*
RQR 7	90	3,48	*
RQR 8	100	3,97	$5,33 \times 10^{-13}$
RQR 9	120	5,00	$4,69 \times 10^{-13}$
RQR 10	150	6,57	$4,37 \times 10^{-13}$

Keterangan : \* ada tiga tegangan tabung yang tidak bisa diperoleh *dose output*, yaitu 50, 80 dan 90 kV. Tegangan tabung merupakan data masukan yang diperoleh dari hasil penelitian oleh Rachmat Andika mahasiswa Universitas Indonesia tahun 2010. Telah dilakukan beberapa usaha, tetapi sampai saat ini, *dose output* untuk ketiga tegangan tabung tetap tidak bisa diperoleh.

Berdasarkan Tabel 4.1, didapatkan korelasi antara ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur udara yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur udara.

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat dilihat bahwa titik-titik data mendekati pola grafik fungsi kuadrat dengan persamaan  $y = 2E-12x^{-0.74}$ , sehingga jika nilai  $x$  diperbesar yang berarti ketebalan HVL bertambah, maka *dose output* pada medium penghambur udara akan semakin kecil walaupun tegangan tabung sinar-X diperbesar. Kondisi ini dikarenakan *dose output* pada medium penghambur udara dipengaruhi oleh bertambahnya ketebalan HVL. HVL dapat mengurangi

The first part of the book discusses the history of the university and its development. It covers the early years of the institution, its growth, and the challenges it has faced over time. The second part of the book focuses on the university's academic programs and research activities. It highlights the university's commitment to excellence in education and its contributions to various fields of study. The third part of the book discusses the university's role in society and its commitment to social service and community development.



The book is a comprehensive overview of the university's history and achievements. It provides a detailed account of the institution's growth and development over the years. The book is written in a clear and concise style, making it accessible to a wide range of readers. It is a valuable resource for anyone interested in the history and development of Universitas Andalas.

intensitas radiasi menjadi setengah dari intensitas radiasi mula-mula. Setengah intensitas radiasi mula-mula terserap oleh HVL yang terbuat dari aluminium. Nilai koefisien korelasi antara data *dose output* pada medium penghambur udara dengan data HVL adalah yaitu  $R=0,96$  yang sangat mendekati angka 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara *dose output* pada medium penghambur udara dengan HVL.

#### 4.2. Dose Output TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Air

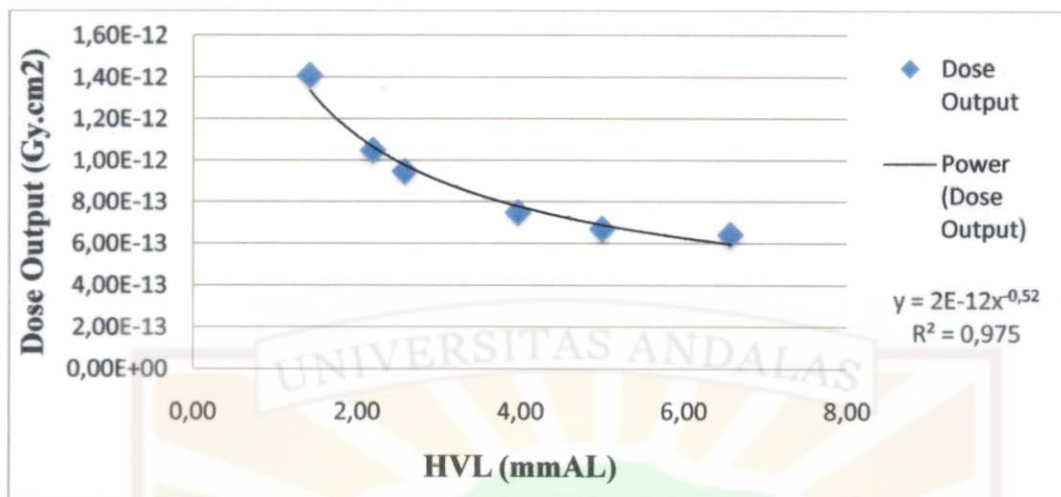
*Dose output* TLD-100 pada medium penghambur air terhadap HVL ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. *Dose output* TLD-100 pada medium pengambur air.

Kualitas radiasi	Tegangan tabung (kV)	HVL (mm)	$K_e$ ( $Gy.cm^2$ )
RQR 2	40	1,42	$14,1 \times 10^{-13}$
RQR 3	50	1,78	*
RQR 4	60	2,19	$10,5 \times 10^{-13}$
RQR 5	70	2,58	$9,47 \times 10^{-13}$
RQR 6	80	3,01	*
RQR 7	90	3,48	*
RQR 8	100	3,97	$7,49 \times 10^{-13}$
RQR 9	120	5,00	$6,70 \times 10^{-13}$
RQR 10	150	6,57	$6,42 \times 10^{-13}$

Keterangan : \* Pada medium pengambur air juga terdapat tiga tegangan tabung yang tidak bisa diperoleh *dose output*.

Berdasarkan Tabel 4.2, didapatkan korelasi antara ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur air yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur air.

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat dilihat bahwa titik-titik data mendekati pola grafik fungsi kuadrat dengan persamaan  $y = 2E-12x^{-0.53}$ , sehingga jika nilai  $x$  diperbesar yang berarti ketebalan HVL bertambah, maka *dose output* pada medium penghambur air akan semakin kecil walaupun tegangan tabung sinar-X diperbesar. Kondisi ini dikarenakan *dose output* pada medium penghambur air dipengaruhi oleh bertambahnya ketebalan HVL. HVL dapat mengurangi intensitas radiasi menjadi setengah dari intensitas radiasi mula-mula. Setengah intensitas radiasi mula-mula terserap oleh HVL yang terbuat dari aluminium. Nilai koefisien korelasi antara data *dose output* pada medium penghambur air dengan data HVL adalah sebesar  $R=0,99$  yang sangat mendekati angka 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara *dose output* pada medium penghambur air dengan HVL.



### 4.3. Dose Output TLD-100 dan HVL pada Medium Penghambur Akrilik

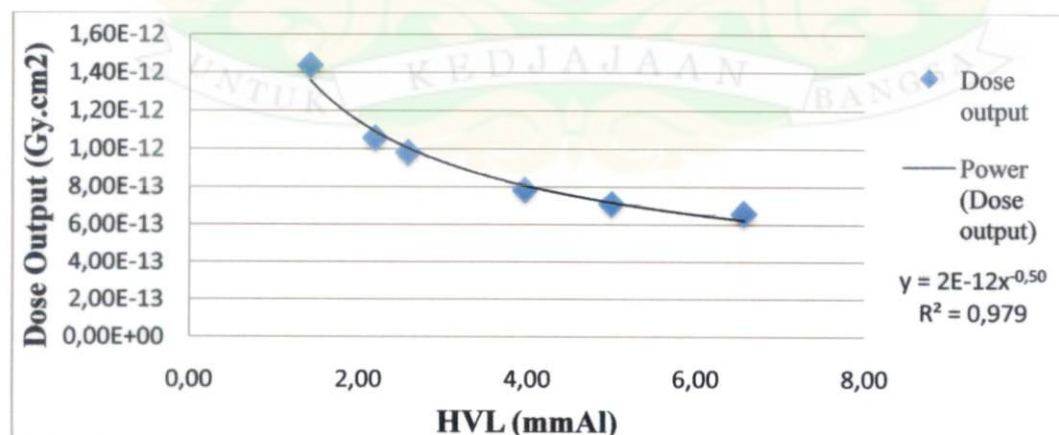
*Dose output* TLD-100 dan HVL pada medium penghambur akrilik ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. *Dose output* TLD-100 pada medium penghambur akrilik.

Kualitas radiasi	Tegangan tabung (kV)	HVL (mm)	$K_e$ ( $Gy.cm^2$ )
RQR 2	40	1,42	$14,4 \times 10^{-13}$
RQR 3	50	1,78	*
RQR 4	60	2,19	$10,6 \times 10^{-13}$
RQR 5	70	2,58	$9,80 \times 10^{-13}$
RQR 6	80	3,01	*
RQR 7	90	3,48	*
RQR 8	100	3,97	$7,83 \times 10^{-13}$
RQR 9	120	5,00	$7,09 \times 10^{-13}$
RQR 10	150	6,57	$6,59 \times 10^{-13}$

Keterangan : \* Pada medium penghambur akrilik juga terdapat tiga tegangan tabung yang tidak bisa diperoleh *dose output*.

Berdasarkan Tabel 4.3, didapatkan korelasi antara ketebalan filter (HVL) terhadap *dose output* pada medium penghambur akrilik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik hubungan ketebalan filter (HVL) terhadap nilai dosis simulasi pada medium penghambur akrilik.

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat dilihat bahwa titik-titik data mendekati pola grafik fungsi kuadrat dengan persamaan  $y = 2E-12x^{-0,50}$ , sehingga jika nilai  $x$  diperbesar yang berarti ketebalan HVL bertambah, maka *dose output* pada medium penghambur akrilik akan semakin kecil walaupun tegangan tabung sinar-X diperbesar. Kondisi ini dikarenakan *dose output* pada medium penghambur akrilik dipengaruhi oleh bertambahnya ketebalan HVL. HVL dapat mengurangi intensitas radiasi menjadi setengah dari intensitas radiasi mula-mula. Setengah intensitas radiasi mula-mula terserap oleh HVL yang terbuat dari aluminium. Nilai koefisien korelasi antara data *dose output* pada medium penghambur akrilik dengan data HVL adalah sebesar  $R=0,99$  yang sangat mendekati angka 1 menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara *dose output* pada medium penghambur akrilik dengan HVL.

#### **4.4. Backscatter Factor TLD-100 pada Medium Penghambur Air dan Akrilik**

*Backscatter factor* ( $B$ ) diperoleh dari perbandingan antara *entrance surface air kerma* ( $K_i$ ) dengan *incident air kerma* ( $K_e$ ). Adapaun nilai *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air dan akrilik yaitu :

##### **4.4.1. Backscatter Factor TLD-100 pada Medium Penghambur Air**

Hasil nilai *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. *Backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air.

Kualitas radiasi	Tegangan tabung (kV)	HVL Simulasi (mm)	( $K_i$ ) ( $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ )	( $K_e$ ) ( $\text{Gy}\cdot\text{cm}^2$ )	$B$ Simulasi	$B$ TRS 457
RQR 2	40	1,42	$1,45 \times 10^{-12}$	$1,41 \times 10^{-12}$	0,974	1,204
RQR 3	50	1,78	-	$1,22 \times 10^{-12}$	-	1,248
RQR 4	60	2,19	$7,71 \times 10^{-13}$	$1,05 \times 10^{-12}$	1,360	1,270
RQR 5	70	2,58	$6,99 \times 10^{-13}$	$9,47 \times 10^{-13}$	1,355	1,300
RQR 6	80	3,01	-	$8,70 \times 10^{-13}$	-	1,360
RQR 7	90	3,48	-	-	-	1,378
RQR 8	100	3,97	$5,33 \times 10^{-13}$	$7,49 \times 10^{-13}$	1,404	1,392
RQR 9	120	5,00	$4,69 \times 10^{-13}$	$6,70 \times 10^{-13}$	1,428	1,406
RQR 10	150	6,57	$4,37 \times 10^{-13}$	$6,42 \times 10^{-13}$	1,469	1,434

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa *backscatter factor* pada medium penghambur air tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan data *backscatter factor* untuk air dalam TRS No.457. Hasil ini menunjukkan bahwa *backscatter factor* yang dihasilkan dari simulasi menggunakan program EGSnrc mendekati *backscatter factor* dalam TRS No.457. Backscatter factor berdasarkan TRS No. 457 ditunjukkan pada Lampiran 1 (TRS No. 457, 2007).

#### 4.4.2. *Backscatter Factor* TLD-100 pada Medium Penghambur Akrilik

Hasil nilai *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur akrilik ditunjukkan pada Tabel 4.5.

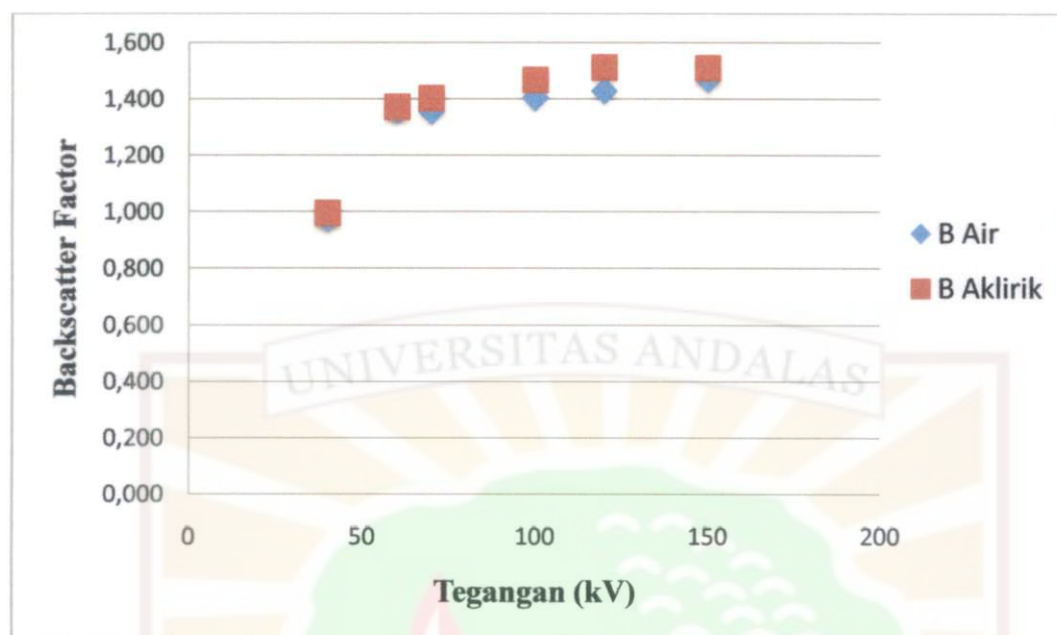
Tabel 4.5. *Backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur akrilik.

Kualitas radiasi	Tegangan tabung (kV)	HVL Simulasi (mm)	( $K_i$ ) (Gy.cm <sup>2</sup> )	( $K_e$ ) (Gy.cm <sup>2</sup> )	$B$ Simulasi	$B$ TRS 457
RQR 2	40	1,42	1,45E-12	1,44E-12	0,994	1,304
RQR 3	50	1,78	-	-	-	1,342
RQR 4	60	2,19	7,71E-13	1,06E-12	1,372	1,380
RQR 5	70	2,58	6,99E-13	9,80E-13	1,402	1,428
RQR 6	80	3,01	-	-	-	1,456
RQR 7	90	3,48	-	-	-	1,476
RQR 8	100	3,97	5,33E-13	7,83E-13	1,468	1,490
RQR 9	120	5,00	4,69E-13	7,09E-13	1,511	1,508
RQR 10	150	6,57	4,37E-13	6,59E-13	1,509	1,526

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai *backscatter factor* pada medium penghambur akrilik tidak berbeda jauh jika dibandingkan dengan data *backscatter factor* untuk akrilik dalam TRS No.457. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai *backscatter factor* yang dihasilkan dari simulasi menggunakan program EGSnrc mendekati nilai *backscatter factor* dalam TRS No.457.

#### 4.5. Perbandingan Antara *Backscatter Factor* TLD-100 pada Medium Penghambur Air dengan Akrilik Terhadap Tegangan Tabung Sinar-X

Perbandingan antara *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air dengan akrilik terhadap tegangan tabung sinar-X ditunjukkan pada Gambar 4.4.

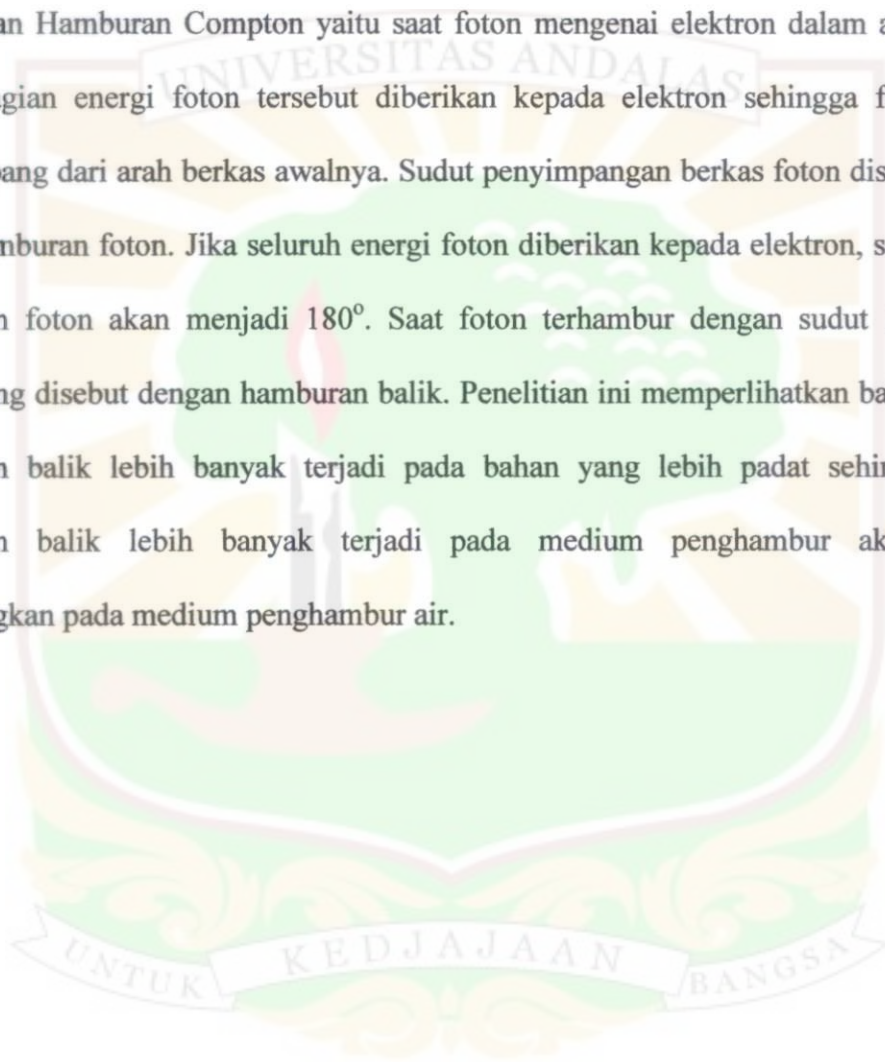


Gambar 4.4. Perbandingan antara *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air dengan akrilik terhadap tegangan tabung sinar-X

Berdasarkan Gambar 4.4 perbandingan *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur air dan akrilik menunjukkan bahwa terdapat perbedaan *backscatter factor* pada dua medium penghambur. *Backscatter factor* semakin besar seiring bertambahnya tegangan tabung sinar-X. Medium penghambur akrilik mempunyai *backscatter factor* yang lebih besar daripada medium penghambur air.

Kedua medium penghambur dalam memperoleh *backscatter factor* (faktor hamburan balik) mewakili dua wujud zat, yaitu padat dan cair. Terdapat perbedaan atom-atom penyusun dalam kedua wujud zat tersebut. Zat padat memiliki susunan atom-atom yang paling rapat dan teratur letaknya sehingga celah antar atom menjadi sangat kecil bila dibandingkan dengan zat cair. Ketika foton mengenai zat padat, maka banyak terjadi hamburan balik karena foton terus

berinteraksi dengan atom-atom sampai energinya habis. Sehingga ada dua foton yang terdeteksi oleh TLD-100, yaitu foton datang dan foton yang dihamburkan oleh zat padat. Hal ini lah yang menyebabkan *backscatter factor* pada zat padat lebih besar bila di bandingkan dengan zat cair. *Backscatter factor* yang terjadi merupakan Hamburan Compton yaitu saat foton mengenai elektron dalam atom dan sebagian energi foton tersebut diberikan kepada elektron sehingga foton menyimpang dari arah berkas awalnya. Sudut penyimpangan berkas foton disebut sudut hamburan foton. Jika seluruh energi foton diberikan kepada elektron, sudut hamburan foton akan menjadi  $180^\circ$ . Saat foton terhambur dengan sudut  $180^\circ$  inilah yang disebut dengan hamburan balik. Penelitian ini memperlihatkan bahwa hamburan balik lebih banyak terjadi pada bahan yang lebih padat sehingga hamburan balik lebih banyak terjadi pada medium penghambur akrilik dibandingkan pada medium penghambur air.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

1. Nilai *backscatter factor* pada medium penghambur air untuk tegangan 40 kV sampai 150 kV mengalami kenaikan dari 1,204 sampai 1,434. Nilai *backscatter factor* pada medium penghambur akrilik untuk tegangan yang sama juga mengalami kenaikan dari 1,304 sampai 1,526. Kondisi ini memperlihatkan bahwa nilai *backscatter factor* pada medium penghambur air dan akrilik semakin besar seiring bertambahnya tegangan tabung sinar-X.
2. Nilai *backscatter factor* pada medium penghambur air dan akrilik mendekati nilai *backscatter factor* yang tertera pada TRS No.457. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan program EGSnrc relevan dan efisien dalam menghitung *dose output* TLD-100 sehingga didapatkan nilai *backscatter factor*.

#### 5.2 Saran

1. Bagi peneliti selanjutnya mencoba kembali menentukan *backscatter factor* TLD-100 pada medium penghambur udara, air dan akrilik untuk tegangan 50, 80 dan 90 kV.
2. Bagi peneliti selanjutnya mencoba kembali menentukan *backscatter factor* untuk berbagai jenis TLD dan lebih bervariasi tegangan masukan.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Akhadi, M, 2000, *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Andika, R, 2010, *Analisis Korelasi Koefisien Homogenitas Terhadap Besar FWHM Spektrum Sinar-X pada Kualitas Radiasi RQR*, Skripsi S1 Jurusan Fisika FMIPA UI, Jakarta
- Beiser, A, 1987, *Konsep Fisika Modern*, Edisi ke-4, Alih bahasa DR. The Houw Liong, Erlangga, Jakarta.
- Bushberg J.T., Seibert J.A., Leidholdt E.M., dan Boone J.M., 2002, *The Essential Physics of Medical Imaging*, 2<sup>nd</sup> ed., Lippincott Williams & Williams, Philadelphia.
- International Atomic Energy Agency, 2007, *Dosimetry in Diagnostic Radiology : An International Code of Practice*, Technical Reports Series no. 457, Vienna, Austria.
- Kawrakow, dkk, 2010, *The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport*, National Research Council, Canada.
- KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR NOMOR 02-P/Ka-BAPETEN/I-03 TENTANG SISTEM PELAYANAN PEMANTAUAN DOSIS EKSTERNA PERORANGAN, 2003, *Penetapan Pilihan Sistem Dosimetri*, BATAN, Jakarta.
- Patel, N.P., B Majumdar and V Vijayan, 2010, *Comparative dosimetry of GammaMed Plus high-dose rate <sup>192</sup>Ir brachytherapy source*, Journal of Medical Physics, Volume 35, Issue 3 [p. 137-143], India.
- Ramadhani, 2008, *Pengukuran Respon TLD-100 Terhadap Variasi Jarak dan Variasi Arah Sudut Datang Radiasi Berkas Pesawat Terapi Cobalt-60*, Skripsi S1 Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.
- Sari, I.P, 2008, *Kalibrasi Keluaran Dosis Radiasi Cobalt-60 Menggunakan Lapangan 10 cm x 10 cm dan Kalibrasi Repon TLD-100 Menggunakan Variasi Dosis Radiasi dan Variasi Luas Lapangan*, Skripsi S1 Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.



Susanti, L., 2007, *Implementasi compliance Test Pada Beberapa Model Pesawat Radiodiagnostik Sinar-X Di Kota Padang*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.

Sumber:[http://www.infonuklir.com/readmore/read/keamanan\\_keselamatan/proteksi\\_radiasi/16eu0q-1/Dosimetri%20Radiasi](http://www.infonuklir.com/readmore/read/keamanan_keselamatan/proteksi_radiasi/16eu0q-1/Dosimetri%20Radiasi), diakses 17 April 2011.

Sumber:[http://www.infonuklir.com/readmore/read/ipitek\\_nuklir/second/14e4a6-1/Interaksi%20Radiasi%20dengan%20Materi](http://www.infonuklir.com/readmore/read/ipitek_nuklir/second/14e4a6-1/Interaksi%20Radiasi%20dengan%20Materi), diakses 20 Juli 2011.



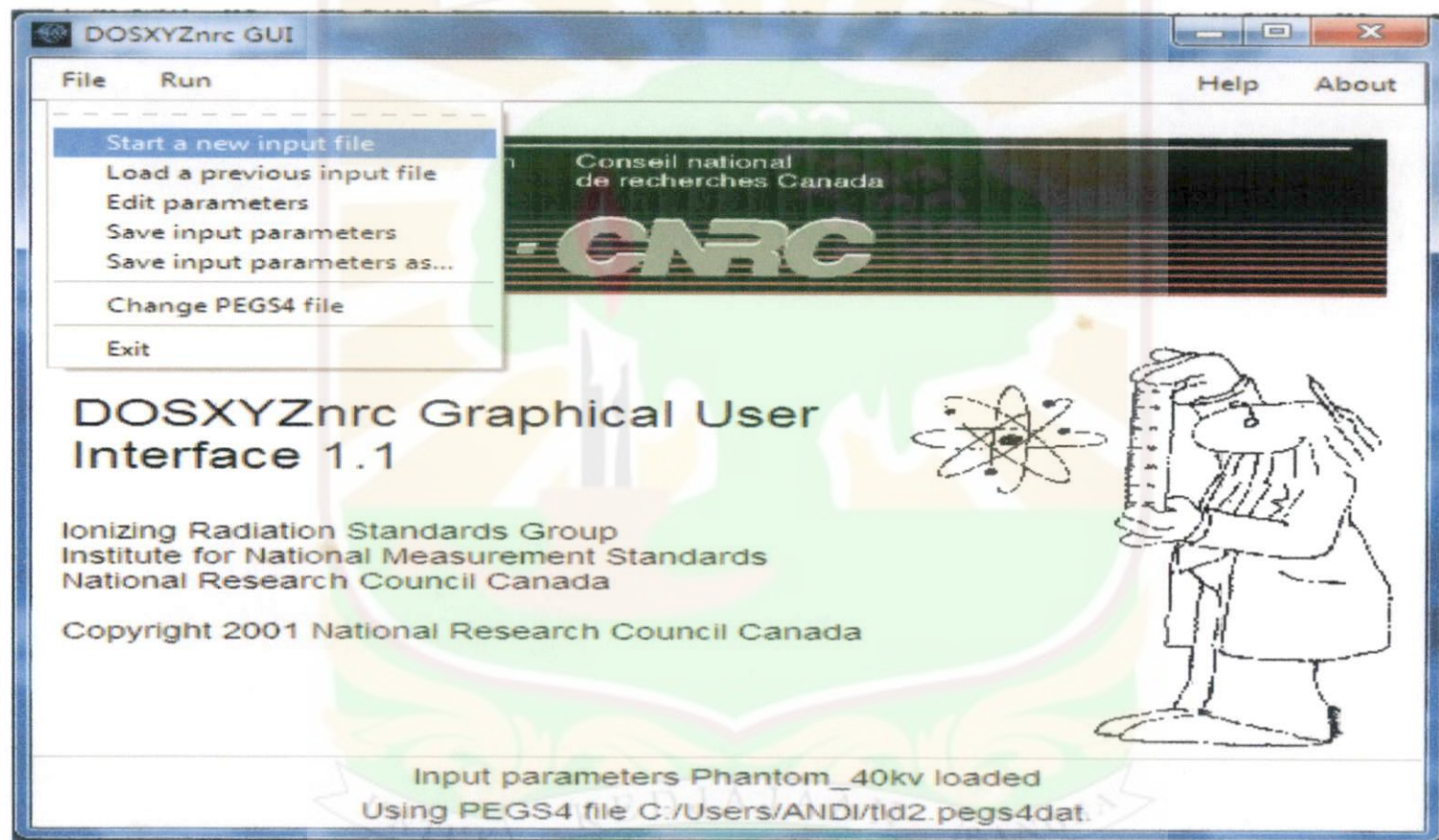
LAMPIRAN 1

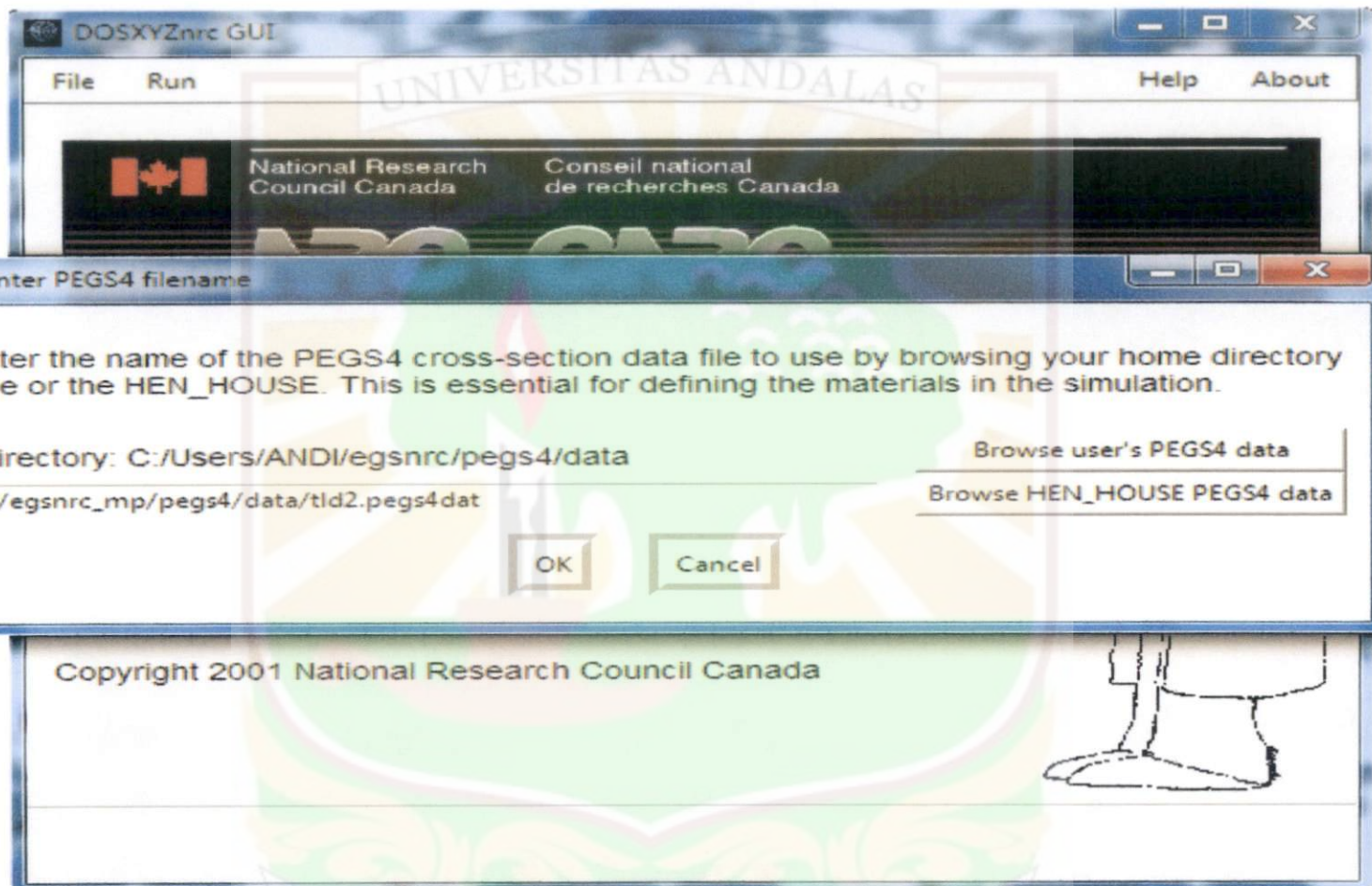
BACKSCATTER FACTOR TRS NO. 457

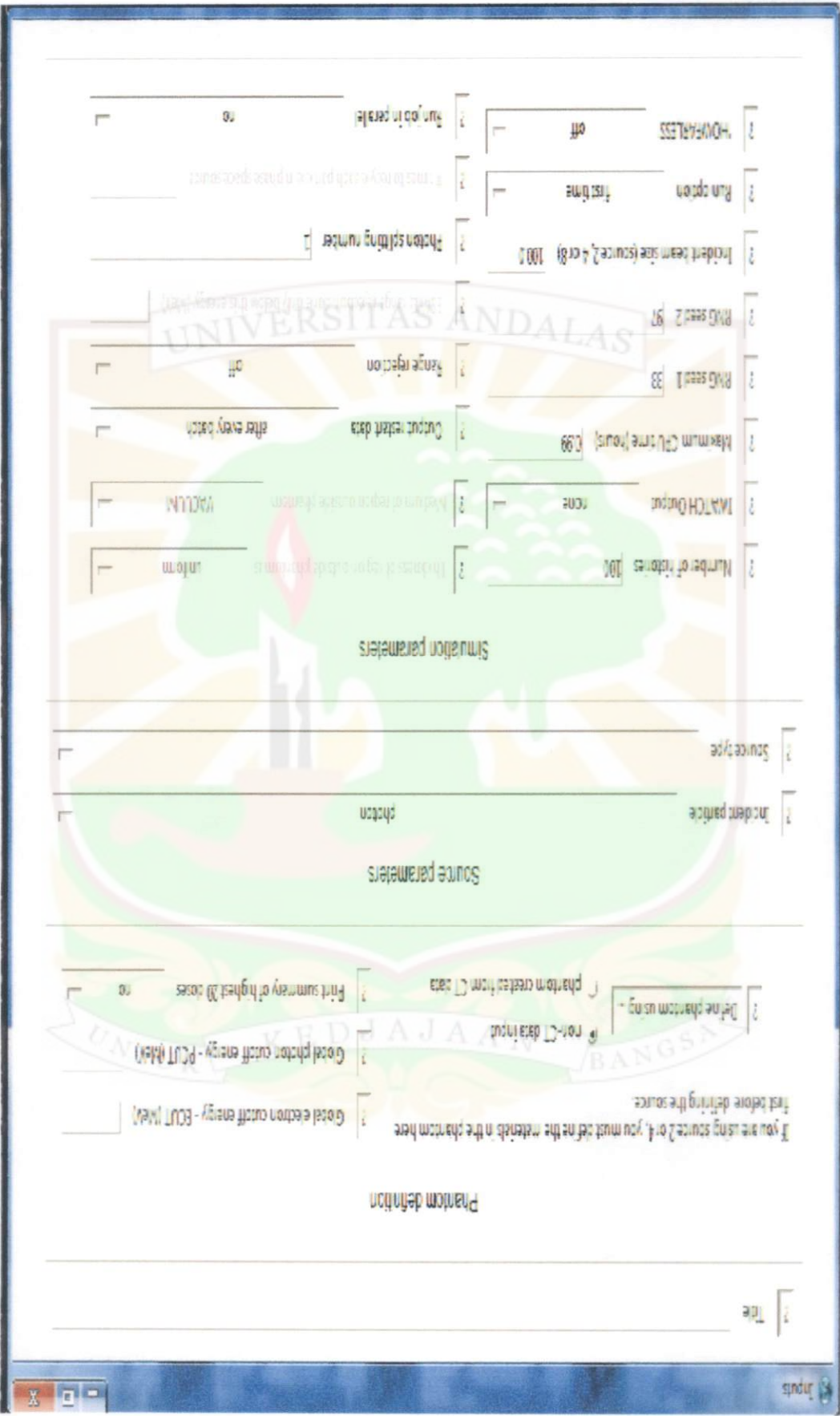
Tube Voltage (kV)	HVL (mm AL)	Backscatter factor (B)											
		Field size 100 mm × 100 mm			140 mm × 140 mm			200 mm × 200 mm					
		Water	Tissue	PMMA	Water	Tissue	PMMA	Water	Tissue	PMMA			
40	1,42	1,200	1,220	1,300	1,204	1,220	1,304	1,210	1,220	1,310			
50	1,74	1,240	1,250	1,330	1,248	1,258	1,342	1,260	1,270	1,360			
60	2,08	1,280	1,280	1,360	1,270	1,296	1,380	1,310	1,320	1,410			
70	2,64	1,320	1,320	1,400	1,300	1,340	1,428	1,360	1,370	1,470			
80	3,04	1,340	1,340	1,420	1,360	1,366	1,456	1,390	1,400	1,510			
90	3,45	1,350	1,360	1,440	1,378	1,388	1,476	1,420	1,430	1,530			
100	3,88	1,360	1,370	1,450	1,392	1,402	1,490	1,440	1,450	1,550			
120	4,73	1,370	1,380	1,460	1,406	1,420	1,508	1,460	1,480	1,580			
150	6,80	1,390	1,390	1,470	1,434	1,438	1,526	1,500	1,510	1,610			

## LAMPIRAN 2

### LANGKAH-LANGKAH MENJALANKAN PROGRAM







Define Phantom

Step 1: Voxel Dimensions

Define x voxels: <input type="radio"/> individually <input checked="" type="radio"/> as groups Number of x voxels or groups of voxels 9 <u>Define x voxels...</u>	Define y voxels: <input type="radio"/> individually <input checked="" type="radio"/> as groups Number of y voxels or groups of voxels 9 <u>Define y voxels...</u>	Define z voxels: <input type="radio"/> individually <input checked="" type="radio"/> as groups Number of z voxels or groups of voxels 4 <u>Define z voxels...</u>
---	---	---

Step 2: Define Media (include medium for region surrounding phantom)

Number of media 5 Define media...

Step 3: Output

Output .egsphant file Select the voxels for which to list the dose...

Done

Media of voxels

Define a group of voxels by entering the voxel indices, then set the medium and medium density for the group. Any voxel for which the medium is not explicitly declared will be assumed to be the first medium selected in the Define Media window (currently udara), with its default density. The default density of a selected material will be used if it is not overridden in the table provided. Click 'Add a group' to define a new group, 'Remove last group' to remove the last group.

from x	to x	from y	to y	from z	to z	medium	density
151	151	151	151	1	1	tld	0
1	301	1	301	2	11	pmma	0
1	301	1	10	2	151	pmma	0
1	10	1	301	2	151	pmma	0
291	301	1	30	2	151	pmma	0
1	301	291	301	2	151	pmma	0
1	301	1	301	142	151	pmma	0
11	290	11	290	12	141	air	0
291	301	31	290	12	141	pmma	0

Remove last group    Add a group    OK

Media

Select every medium you would like to use in this simulation (including that surrounding the phantom, for phase space beam input) and enter the ESTEPE value that you wish to use for each medium. Any voxel for which the medium is not explicitly declared will be assumed to be the first medium selected here, with its default density.

Medium	ESTEPE
1 udara	0
2 tld	0
3 pmma	0
4 tissue	0
5 air	0

Set media of voxels...

OK    Help

IZSCAN of voxels

Define a group of voxels by entering the voxel indices, then set the direction of the scan per page. Unless declared here, the default is no output. Click 'Add a group' to define a new group.

from x	to x	from y	to y	from z	to z	scan
150	151	150	151	1	151	z-scan per page

Remove last group    Add a group    OK

Set source options

Source 3 - Point source from the front with rectangular collimation

Lower x-bound on source (cm)

Upper x-bound on source (cm)

Lower y-bound on source (cm)

Upper y-bound on source (cm)

Source to surface distance (SSD) (cm)

Specify source beam energy or energy spectrum filename:

monoenergetic

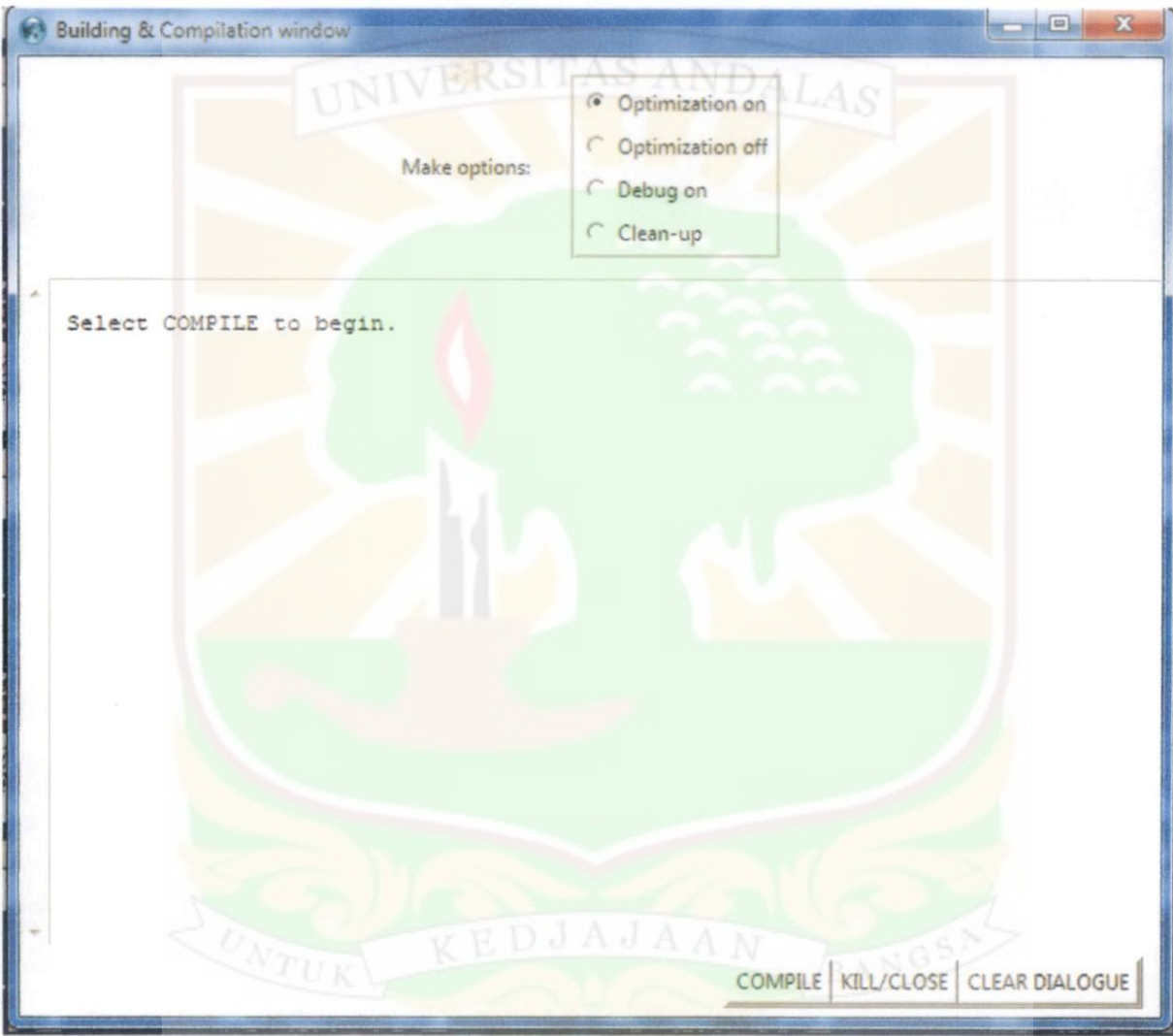
Kinetic energy of beam (MeV)

OR

spectrum

Spectrum filename (complete):





Building & Compilation window

UNIVERSITAS ANDALAS

- Optimization on
- Optimization off
- Debug on
- Clean-up

Make options:

Select COMPILE to begin.

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

COMPILE | KILL/CLOSE | CLEAR DIALOGUE

