



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE PENENTUAN SPEKTRUM IODIUM 125 DENGAN CARA
SIMULASI MENGGUNAKAN EGSnrc DAN EKSPERIMEN
MENGGUNAKAN DETEKTOR AMPTEK CdTe**

SKRIPSI

AGUS SUPRIATNA

0606067982

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE PENENTUAN SPEKTRUM IODIUM 125 DENGAN CARA
SIMULASI MENGGUNAKAN EGSnrc DAN EKSPERIMEN
MENGGUNAKAN DETEKTOR AMPTEK CdTe**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

AGUS SUPRIATNA

0606067982

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS

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

Nama : Agus Supriatna

NPM : 0606067995

Tanda Tangan : 

Tanggal : 24 Juni 2011

:

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Agus Supriatna
NPM : 0606067982
Program Studi : Fisika Medis dan Biofisika
Judul Skripsi : **METODE PENENTUAN SPEKTRUM IODIUM 125
DENGAN CARA SIMULASI EGSnrc DAN EKSPERIMEN
MENGUNAKAN DETEKTOR AMTEK CdTe**

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno Kuncoro Sihono, M.Si (.....)
Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.Si (.....)
Penguji : Prof Dr Djarwani S (.....)
Penguji : Kristina Tri Wigati, M.Si (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 14 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT Tuhan Alam Semesta yang menciptakan langit dan bumi serta memberikan segala potensi nikmatnya kepada saya sehingga saya bisa menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam terhatur kepada Nabi besar Muhammad SAW, seorang yang berjasa besar membawa sebuah peradaban baru kepada dunia.

Rasa terima kasih penulis sampaikan kepada orang-orang yang telah banyak berperan membantu saya sehingga skripsi saya bisa diselesaikan, di antaranya:

1. Bapak Dwi Seno K M.Si selaku dosen pembimbing satu penulis yang banyak memberikan arahan dan masukan yang berarti bagi penulis. Beliau juga senantiasa membimbing penulis dengan baik.
2. Bapak Heru Prasetio, M.Si selaku pembimbing kedua penulis yang telah banyak meluangkan waktunya untuk penulis dan dengan sabar membimbing penulis sehingga terselesaikannya skripsi ini.
3. Prof Dr Djarwani S Soejoko selaku ketua peminatan dan penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis.
4. Kristina Tri Wigati, M.Si selaku penguji yang memberikan banyak masukan dan saran.
5. Seluruh staf pengajar Fisika FMIPA UI yang telah memberikan banyak ilmu bagi penulis selama menempuh kuliah di Fisika FMIPA UI. Semoga ilmu yang telah diperoleh dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya oleh penulis.
6. Kepada kedua orang tua penulis, ayah dan ibu penulis yang telah bersusah payah membesarkan, mendidik dan memberikan kasih sayang yang tidak terbatas serta kesabaran yang luar biasa dalam menemani perjalanan hidup penulis.
7. Kepada rekan-rekan penulis yang telah memberikan bantuan moril maupun materil diantaranya: Syahrullah, Iyan Subiyanto, Agus Sulisty, Haris Setyo, M Harfan, Tino dan seluruh teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

8. Kepada rekan-rekan BEM PERAK 2009 FMIPA UI yang telah berjuang bersama-sama semasa di kampus untuk memberikan kontribusi yang terbaik di kampus.
9. Kepada rekan-rekan MII FMIPA UI yang telah memberikan banyak pelajaran berharga kepada penulis.
10. Kepada rekan-rekan SALAM UI yang telah memberikan pelajaran akan pentingnya sebuah kepedulian.
11. Dan kepada Rekan-rekan PELANGI 06 yang bisa dijadikan sebagai keluarga kedua bagi penulis. Bersenang-senang bersama dan bersusah-susah bersama.

Diakhir kata penulis hanya bisa berharap semoga Allah SWT memberikan balasan kepada mereka semua dengan kebaikan yang lebih baik.

Juni 2011

Agus Supriatna

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Agus Supriatna
NPM : 0606067982
Program Studi : Fisika Medis dan Biofisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

Metode Penentuan Spektrum Iodium 125 dengan Cara Simulasi Menggunakan EGSnrc dan Eksperimen Menggunakan Detektor Amptek CdTe

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, 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 Tanggal : 24 Juni 2011

Yang menyatakan



(Agus Supriatna)

ABSTRAK

Nama : Agus Supriatna
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Metode Penentuan Spektrum Iodium 125 dengan Cara Simulasi Menggunakan EGSnrc dan Eksperimen Menggunakan Detektor Amptek CdTe

Batan berhasil membuat Iodium-125 sejak tahun 2009 untuk brakhiterapi. Oleh karena itu perlu diketahui spektrum yang dihasilkan oleh I-125. Penentuan spektrum I-125 yang dilakukan menggunakan metode simulasi monte carlo dan eksperimen. Simulasi dilakukan dengan menggunakan EGS-nrc sedangkan untuk eksperimen menggunakan detektor AMPTEK CdTe. Hasil eksperimen menghasilkan 6 puncak spektrum yaitu pada energi 4 KeV, 22Kev, 25Kev, 27KeV, 31KeV dan 35KeV. Energi 4KeV dan 22KeV adalah energi x-ray bremsstrahlung dari elektron I-125. Hasil simulasi memperlihatkan bentuk spektrum yang identik dengan eksperimen, hanya intensitas pada energi 4KeV sangat kecil. Terdapat pula energi dari detektor AMPTEK CdTe, untuk Cd pada energi 22KeV dan 23KeV dan Te pada energi 31KeV.

Kata kunci : I-125, Monte Carlo, Egsnrc, CdTe

xii+31 halaman : 20 gambar, 4 tabel

Daftar Pustaka : 8 (1995-2011)

ABSTRACT

Name : Agus Supriatna
Program Study : S1 Fisika
Title : Method of Iodine-125 Spectrum Measurement Using Simulation of EGSnrc and Experiment of CdTe Detector

Batan managed to make Iodine-125 since 2009 for brakhiterapy. Therefore to know the spectrum produced by I-125. Determination of the spectrum of I-125 was performed using the method of monte carlo simulation and experiment. Simulations performed using EGSnrc while for experimental use AMPTEK CdTe detector. The experimental shows 6 spectral peaks are at 4 KeV, 22 KeV, 25 KeV, 27 KeV, 31 KeV and 35 KeV. Where 4 KeV and 22 KeV is x-ray electron bremsstrahlung energy from I-125. The simulation results show that the spectrum shape identical to the experiment, only the intensity of the energy 4 KeV very small. There are energy of AMPTEK CdTe detector, for Cd in 22KeV and 23KeV and Te on 31KeV.

Keyword : I-125, Monte Carlo, Egsnrc, CdTe
xii+31 pages : 20 pictures, 4 tables
Bibliography : 8 (1995-2011)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Peluruhan Gamma	5
2.2 Energi Peluruhan Gamma	6
2.3 Interaksi Radiasi dengan Materi	7
2.4 Penyerapan Fotolistrik	7
2.5 Hamburan Compton	8
2.6 Metode Montecarlo	9
2.7 EGS-nrc	10
2.8 Detektor CdTe	11

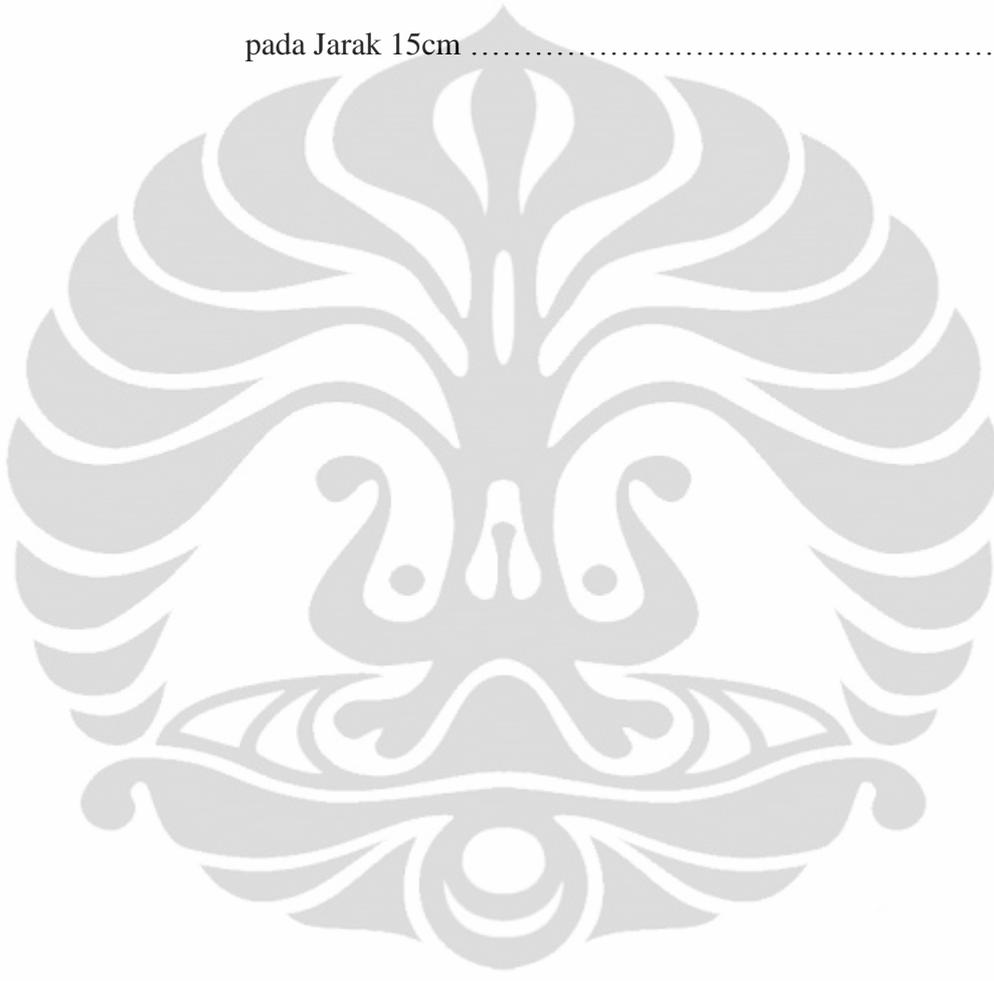
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Metode Simulasi.....	13
3.1.1 Penentuan dan Perencanaan Material I-125.....	13
3.1.2 Penentuam Model Iodium-125	14
3.1.3 Penentuan Input Spektrum Simulasi	18
3.2 Metode Eksperimen	18
BAB 4 HASIL dan PEMBAHASAN	20
4.1 Hasil Simulasi	20
4.2 Hasil Eksperimen	21
4.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan simulasi	26
BAB 5 KESIMPULAN dan SARAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
Daftar Acuan	30
Lampiran	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Eksperimen Spektrum I-125.....	3
Gambar 2.1 Hamburan Compton.....	8
Gambar 2.2 Detektor AMPTEK CdTe.....	12
Gambar 3.1 Model sumber I-125 Tampak Atas.....	13
Gambar 3.2 Tampilan dari EGSgui.....	14
Gambar 3.3 Model Iodium-125 Tampak Samping.....	14
Gambar 3.4 (a)Model I-125 yang sudah dibelah (b) Penentuan region dan rancangan model untuk EGSnrc.....	16
Gambar 3.5 Hasil model di EGSnrc.....	17
Gambar 3.6 Model Pengukuran Eksperimen.....	19
Gambar 4.1 Grafik Hasil Simulasi I-125 pada Jarak 15cm.....	20
Gambar 4.2 Tampilan Spektrum yang tampak pada Perangkat Lunak AMPTEK ADMCA.....	21
Gambar 4.3 Channel vs Energi.....	22
Gambar 4.4 Kurva Efisiensi dari CdTe	23
Gambar 4.5 Hasil Eksperimen dari Seed A.....	24
Gambar 4.6 Hasil Eksperimen dari Seed B.....	24
Gambar 4.7 Hasil Eksperimen dari Seed C.....	25
Gambar 4.8 Gabungan spektrum sumber A, B dan C.....	26
Gambar 4.9 Grafik Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan Eksperimen sumber A pada jarak 15cm	27

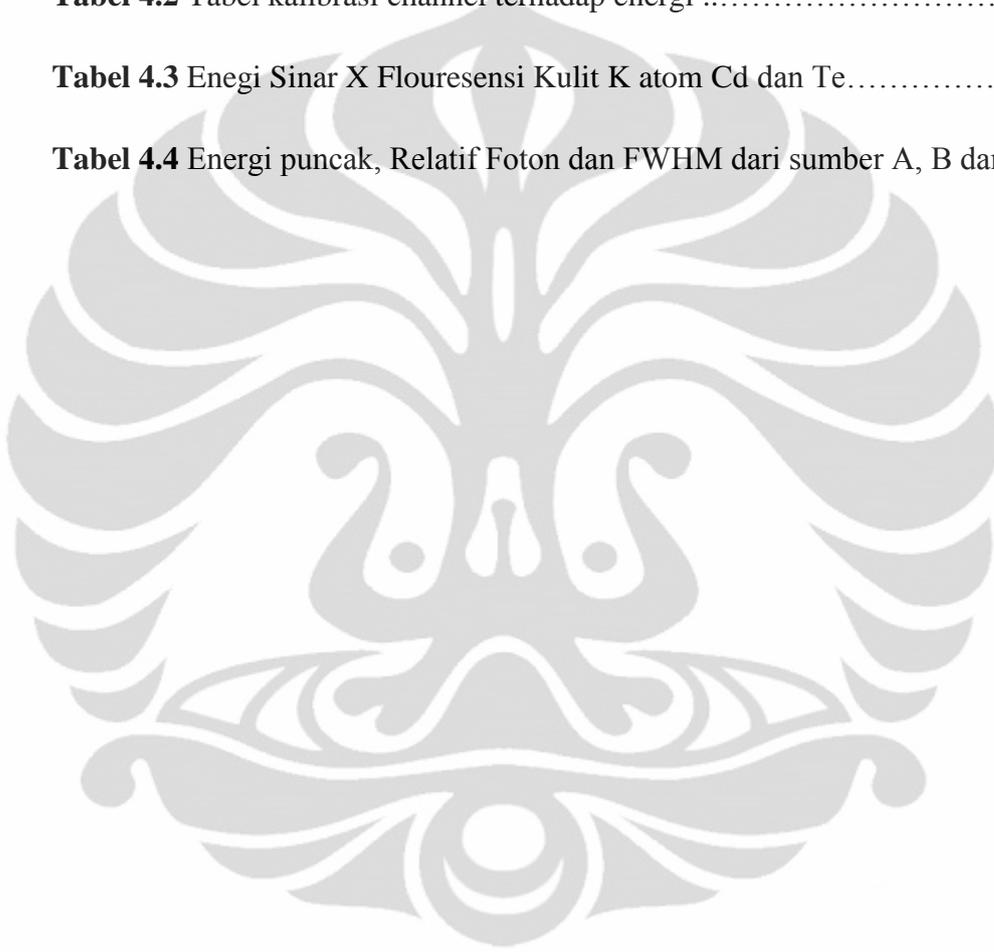
Gambar 4.10 Grafik Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan
Eksperimen sumber B pada Jarak 15cm27

Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen Sumber C
pada Jarak 15cm28



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data Energi, Ralatif Foton dan FWHM pada Puncak Hasil Simulasi I-125 pada Jarak 15cm	21
Tabel 4.2 Tabel kalibrasi channel terhadap energi	22
Tabel 4.3 Enegi Sinar X Flouresensi Kulit K atom Cd dan Te.....	25
Tabel 4.4 Energi puncak, Relatif Foton dan FWHM dari sumber A, B dan C...	26



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Input Skema Peluruhan I 125 untuk simulasi31
- Lampiran 2 Data hasil simulasi pada region 139, jarak 15cm dari sumber ..32



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 multiplikasi ataupun pembelahan sel-sel kanker akan terhambat. Sekitar 50-60% penderita kanker memerlukan radioterapi. Tujuan radioterapi adalah untuk pengobatan secara radikal, sebagai terapi paliatif yaitu untuk mengurangi dan menghilangkan rasa sakit atau tidak nyaman akibat kanker dan sebagai *adjuvant* yakni bertujuan untuk mengurangi risiko kekambuhan dari kanker. Dengan pemberian setiap terapi, maka akan semakin banyak sel-sel kanker yang mati dan tumor akan mengecil. Dalam penanganan penyakit kanker saat ini disamping hasil terapi, kualitas hidup penderita merupakan hal yang sangat penting dan perlu mendapat perhatian khusus.

Berdasarkan jarak sumber radiasi ke kanker maka radioterapi dibagi menjadi dua, teleterapi (eksternal), radioterapi internal dan brakiterapi. Brakiterapi adalah salah satu metode pemberian radiasi dengan mendekati atau menusukkan sumber radiasi ke daerah target sehingga akan memberikan dosis yang dapat mematikan sel kanker pada daerah target, dengan dosis serendah mungkin pada organ penting sekitarnya. Dengan ditemukan berbagai sumber radiasi misalnya iridium penggunaan brakiterapi sangat berkembang. Sumber radiasi ini dapat digunakan pada berbagai lokasi kanker secara implantasi.

Sejalan dengan perkembangan teknologi produksi radioisotop, brakiterapi mengalami perkembangan pesat dengan memanfaatkan radioisotop buatan, yang memiliki waktu paruh pendek, sehingga tidak ada efek samping atau membahayakan tubuh pasien. Sedangkan radium yang digunakan pada masa awal pengenalan brakiterapi adalah Radium-226 yang memiliki masa paruh 1.600 tahun. Hasil pengembangan teknologi produksi radioisotop adalah Iridium-192 yang dibuat melalui aktivasi neutron. Waktu paruh isotop iridium 73,8 hari dan radiasi maksimumnya 675 keV.

Belakangan Batan berhasil membuat Iodium-125 sejak tahun 2009 untuk brakhiterapi dengan teknik implan atau pencangkokan. Isotop tersebut diproduksi menggunakan Xenon-Loop System. Saat ini hanya ada tiga negara di dunia yang memiliki Xenon-Loop System. Selain Indonesia adalah Amerika Serikat dan Kanada.

Iodium-125 yang diproduksi dari sasaran isotop Xenon-124 berbentuk gas berhasil diproduksi. Radioisotop ini memiliki waktu paruh 60 hari. Radiasi gamma energi rendah merupakan radiasi yang efektif untuk penanganan kanker dan memiliki efek samping kecil.

Dalam penelitian kali ini akan dilakukan pengukuran spektrum Iodium-125 melalui simulasi dan eksperimen dan membandingkan hasil antara keduanya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian kali ini spektrum I-125. Dalam hal ini akan dilakukan pengukuran spektrum I-125 dengan cara simulasi dan eksperimen sehingga terlihat perbandingan antar keduanya.

1.3. Pembatasan Masalah

Permasalahan dari penelitian ini dibatasi pada penentuan spektrum I-125 menggunakan metode simulasi dan eksperimen. Metode simulasi menggunakan software EGS-nrc sedangkan metode eksperimen menggunakan detektor AMPTEK CdTe.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

1. Melakukan studi tentang pemodelan simulasi geometri dari sumber I-125 dan detektor AMPTEK CdTe
2. Mempelajari spektrum I-125 dari hasil simulasi dan eksperimen

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1. Metode Kepustakaan

Metode studi literatur ini digunakan untuk mengetahui teori dasar sebagai sumber dan acuan dalam penulisan skripsi. Informasi yang akan dijadikan rujukan berasal dari paper, buku, bimbingan dan diskusi dengan beberapa rekan.

2. Pemasukan Data Geometri dan Parameter Simulasi

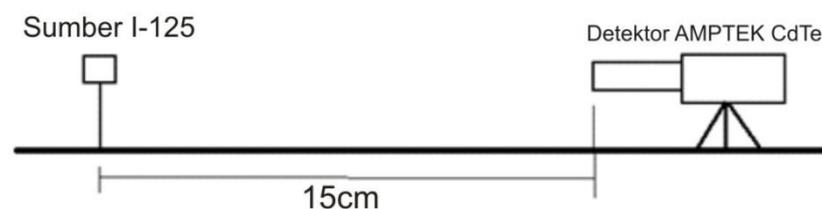
Metode ini merupakan langkah pemasukan data-data geometri dan parameter yang harus ada pada simulasi agar tercipta kondisi yang sesuai dengan keadaan yang sebenarnya/eksperimen.

3. Simulasi Komputer

Simulasi computer dilakukan untuk mendapatkan data *fluence* foton yang diperoleh dari simulasi pemodelan sumber. Hasil perhitungan *fluence* foton dan fungsi geometri sumber tersebut akan diolah menghasilkan sebuah kurva spektrum.

4. Eksperimen Pengukuran Spektrum I-125

Merupakan eksperimen dengan menggunakan sumber I-125 dan menggunakan detektor CdTe.



Gambar 1.1 Eksperimen Spektrum I-125

5. Metode Analisis

Metode ini merupakan pengamatan dari metode pengambilan data dan simulasi. Kedua data akan dibandingkan dan dianalisis sehingga bisa mendapatkan factor koreksi antara metode simulasi dan metode eksperimen.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini dibagi menjadi 5 Bab, yang masing-masing terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab-bab dilakukan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang penjelasan secara umum latar belakang permasalahan, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini penulis menguraikan teori-teori dasar yang digunakan pada penulisan, simulasi dan analisa.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah – langkah dalam pelaksanaan simulasi,eksperimen dan pengambilan data sampai dengan proses perolehan hasil.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditampilkan hasil simulasi komputer, eksperimen dan hasil perhitungan dari penelitian yang dilakukan beserta analisisnya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penulis yang diperoleh selama penelitian.

BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Peluruhan Gamma

Peluruhan gamma disebabkan oleh interaksi medan magnetik dengan nukleon. Peluruhan gamma memancarkan sinar gamma yang merupakan gelombang elektromagnetik. Dimana peluruhan gamma terjadi pada nuklida yang berada dalam keadaan tereksitasi, yaitu nuklida yang memiliki energi diatas tingkat energi terendahnya (tingkat dasar atau *ground state*). Tingkat energi dasar dari nuklida merupakan energi ikat total dari nuklida stabil. Nuklida tereksitasi biasanya terjadi dari nuklida yang merupakan peluruhan Alpa atau Beta, di mana untuk mencapai tingkat energi dasar atau keadaan stabil dilakukan pelepasan energi melalui peluruhan gamma.

Pada peluruhan gamma tidak terjadi perubahan jumlah proton atau jumlah neutron dan hanya perubahan energi yang terjadi. Persamaan reaksi inti:



Dimana

${}^A_Z X^*$ = nuklida dalam keadaan tereksitasi

${}^A_Z X$ = nuklida dalam keadaan ground state

γ = gamma

Q_γ = energy peluruhan gamma

Kekuatan suatu bahan radioaktif akan menurun dengan waktu secara eksponensial. Peluruhan sebenarnya berlaku secara statistik jadi tidak mungkin menentukan dengan pasti kapan terjadi. Tetapi yang bias ditentukan adalah kemungkinan meluruh itu. Oleh karena inti yang berbeda pada keadaan eksitasi tidak punya memori (tidak ingat bagaimana sampai pada keadaan itu) maka kemungkinan untuk meluruh pada interval berikutnya sama besarnya. Secara matematis ditulis dalam bentuk

$$N(t) = N_0 e^{-t} \quad (2.2)$$

Dimana

N_0 = Jumlah inti yang aktif ditinjau pada $t=0$

N_t = Jumlah inti yang aktif ditinjau pada $t=t$

e^{-t} = konstanta peluruhan

2.2 Energi Peluruhan gamma

Energi peluruhan gamma Q_γ dalam emisi gamma adalah hasil dari energy gamma E_γ dan energi kinetik balik dari anak hasil peluruhan $(E_K)_D$

$$Q_\gamma = E_\gamma + (E_K)_D \quad (2.3)$$

Dimana magnitude dari momenta dari nucleus kebalikan anak $p_D = M(D)v_D$ dan sinar gamma $p_\gamma = E_\gamma / c$ sama dengan $p_D = p_\gamma$, kita menentukan partisi dari energy antara $E_\gamma = p_\gamma c = M(D)v_{DC}$ dan $(E_K)_D = M(D)v_D^2 / 2$ sebagai

$$(E_K)_D = \frac{M(D)v_D^2}{2} = \frac{E_\gamma^2}{2M(D)c^2} \quad (2.4)$$

dimana $M(D)$ dan v_D adalah masa diam dan kecepatan balik dari masing-masing nukleus anak.

Sehingga energi peluruhan gamma Q_γ sekarang dapat ditulis sebagai

$$Q_\gamma = E_\gamma + (E_K)_D = E_\gamma \left(1 + \frac{E_\gamma}{2M(D)c^2} \right) \quad (2.5)$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa energy kinetic balik dari anak $(E_K)_D$ merepresentasikan kurang dari 0.1% dari energi sinar gamma E_γ . Energi balik dari inti anak dapat diabaikan. Panamaan *anak* dalam peluruhan gamma

digunakan paralel dengan lebel yang sama dalam peluruhan nuklida, ini memperjelas definisi dengan peluruhan induk ke anak.

2.3 Interaksi Radiasi dengan Materi

Pada interaksi radiasi dengan materi, maka yang dimaksud dengan materi adalah semua zat yang dilewati oleh radiasi sehingga termasuk udara, gas dan zat-zat lainnya baik cair maupun padat.

Apabila radiasi melalui suatu zat, maka akan terjadi interaksi dengan atom-atom dan molekul-molekul zat itu, sehingga radiasi tersebut kehilangan energinya. Bagian terbesar dari interaksi adalah terjadi dengan elektron yang mengelilingi inti.

Jika perpindahan energi radiasi ke atom-atom cukup besar akan menimbulkan ionisasi, dimana electron dikeluarkan dari ikatan atomnya. Ion positif yang terbentuk bersama dengan electron yang terlempar keluar disebut pasangan ion.

Namun apabila perpindahan energi tidak cukup besar, maka yang terjadi hanyalah eksitasi, yaitu elektron terikat pada atomnya dan hanya mendapatkan tambahan energi.

Interaksi radiasi dengan materi tergantung kepada tipe radiasi dan bahan yang dikenai radiasi dengan materi tergantung kepada tipe radiasi dan bahan yang dikenai radiasi tersebut. Suatu berkas sinar radioaktif bila dilewatkan pada suatu materi akan mengalami pengurangan intensitas dari sinar tersebut akibat penyerapannya oleh materi yang dilewati.

Partikel gamma tidak bermuatan, maka daya ionisasinya rendah. Berbeda dengan Alpha dan Beta, radiasi gamma merupakan radiasi foton yang bersifat sebagai gelombang elektromagnetik; tetapi karena energinya relatif tinggi, mempunyai daya tembus pada bahan sangat besar.

Gamma tidak bermuatan, jadi tidak secara langsung mengadakan ionisasi dengan materi. Pada waktu menembus materi terjadi 2 peristiwa interaksi yaitu foto listrik dan hambatan Compton.

2.4 Penyerapan Fotolistrik

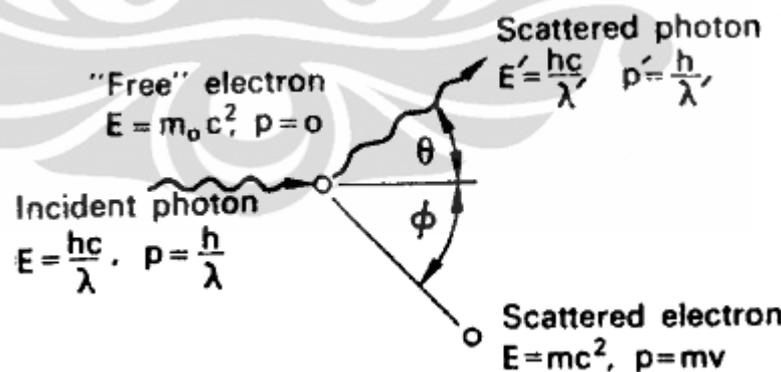
Pada efek fotolistrik, foton akan menghilang merupakan interaksi foton dan elektron yang energi ikatnya sama atau lebih kecil dari energi foton. Partikel utama penyebab ionisasi ini disebut dengan foto-elektron, yang energinya dinyatakan dalam persamaan:

$$E_{pe} = hf - \phi \quad (2.6)$$

Fotoelektron melepaskan energinya dalam materi melalui eksitasi dan ionisasi. Energi ikat Φ berpindah ke materi melalui peristiwa fluoresensi yang terjadi setelah interaksi awal. Pada interaksi photoelektrik lainnya energi yang rendah akan diserap oleh elektron terluar. Efek fotolistrik biasanya terjadi pada foton energi rendah dengan materi penyerap yang bernomor atom besar.

2.5 Hamburan Compton

Hamburan Compton merupakan suatu tumbukan lenting sempurna antara sebuah foton dan sebuah elektron bebas (suatu elektron bebas ialah elektron yang energi ikatnya dengan atom jauh lebih kecil daripada energi foton)



Gambar 2.1 Hamburan Compton

Dalam interaksi ini berlaku hukum kekekalan momentum dan energi, maka kita dapatkan

$$E = mc^2 \quad (2.7)$$

Menurut hukum kekekalan momentum, semua momentum foton, p harus dipindahkan ke elektron, jika foton tersebut hilang:

$$p = \frac{E}{c} = mv \quad (2.8)$$

Dengan menghilangkan m dan mencari nilai v maka didapat $v=c$ sebuah solusi yang tidak mungkin karena tidak semua energy foton berpindah. Harus ada foton yang terhambur dan hamburan foton harus mempunyai energi lebih rendah atau panjang gelombang lebih tinggi dibandingkan dengan foton yang datang. Hanya perbedaan energi dari foton datang dan foton terhambur yang dipindahkan ke elektron. Energinya dapat dihitung dengan menerapkan prinsip kekekalan energi

$$\frac{hc}{\lambda} + m_0c^2 = \frac{hc}{\lambda'} + mc^2 \quad (2.9)$$

untuk mempertahankan kekekalan momentum kearah horizontal dan vertikal kita harus memenuhi:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + mv \cos \phi, \quad (2.10)$$

$$0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - mv \sin \phi \quad (2.11)$$

Penyelesaian persamaan ini dengan memperhatikan perubahan panjang gelombang foton:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \theta) \quad (2.12)$$

2.6 Metode Montecarlo

Simulasi adalah sebuah metode analitik yang bertujuan membuat “imitasi” dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak, dimana jika digunakan model lain menjadi sangat *mathematically complex* atau terlalu sulit untuk dikembangkan. Simulasi monte carlo adalah salah satu metode simulasi sederhana yang dapat dibangun secara cepat dengan hanya

menggunakan program EGSnrc. Pembangunan model simulasi monte carlo didasarkan pada data probabilitas yang diperoleh data historis sebuah kejadian dan frekuensinya, dimana:

$$P_i = \frac{f_i}{n} \quad (2.13)$$

Dimana

P_i = Probabilitas kejadian i

f_i = Frekuensi kejadian i

n = jumlah frekuensi semua kejadian

Metode Monte Carlo sangat penting dalam fisika komputasi dan bidang terapan lainnya, dan memiliki aplikasi yang beragam mulai dari perhitungan termodinamika quantum esoterik hingga perancangan aerodinamika. Metode ini terbukti efisien dalam memecahkan persamaan diferensial integral medan radian, sehingga metode ini digunakan dalam perhitungan iluminasi global yang menghasilkan gambar-gambar fotorealistik model tiga dimensi, dimana diterapkan dalam video games, arsitektur, perancangan, film yang dihasilkan oleh komputer, efek-efek khusus dalam film, bisnis, ekonomi, dan bidang lainnya.

Karena algoritma ini memerlukan pengulangan (repetisi) dan perhitungan yang amat kompleks, metode Monte Carlo pada umumnya dilakukan menggunakan komputer, dan memakai berbagai teknik simulasi komputer.

Algoritma Monte Carlo adalah metode Monte Carlo numerik yang digunakan untuk menemukan solusi problem matematis (yang dapat terdiri dari banyak variabel) yang susah dipecahkan, misalnya dengan kalkulus integral, atau metode numerik lainnya.

2.7 EGS nrc

Sistem EGSnrc adalah paket dari simulasi monte carlo untuk mensimulasi lintasan elektron foton. Sistem ini mampu digunakan dalam rentan enegi 1keV sampai 10 GeV. EGS berasal dari akronim *Electron Gamma Shower* dan EGSnrc adalah versi terbaru yang telah dikembangkan dan ditingkatkan dari versi paket EGS4 yang dikembangkan di *Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)*. Secara khusus telah mencakup perbaikan yang signifikan dalam pelaksanaan teknik simulasi transportasi partikel bermuatan dan lebih baik pada energi penampang melintang yang rendah.

Ketika partikel berenergi tinggi dalam bentuk elektron dan atau foton menumbuk materi dan melintasi materi tersebut sehingga berinteraksi dengan atom dan inti materi dengan berbagai cara yang sudah diprediksi oleh fisika. Lintasan setiap partikel dapat dimodelkan sebagai “*random walk*” yang merupakan hasil tumbukan dengan atom yang terjadi dengan mendefinisikan probabilitasnya. Setiap interaksi dapat menghasilkan lebih banyak elektron dan foton akibat dari tumbukan ketika melintasi dalam materi. Proses ini diberi nama “*shower*”. EGS dikembangkan untuk merancang percobaan yang baik untuk energi yang tinggi dalam fisika.

Dalam simulasi yang dilakukan terdapat banyak parameter yang disertakan, diantaranya parameter material, parameter energi yang digunakan dan parameter model. EGSnrc pada percobaan kali ini digunakan untuk memodelkan sumber Iodium 125 dan melihat bagaimana spektrum foton yang akan dihasilkan pada jarak tertentu dari hasil simulasi ini.

2.8 Detektor CdTe

Detektor CdTe merupakan detektor semikonduktor. Model CdTe yang digunakan pada percobaan kali ini adalah CdTe XR-1000T. Model CdTe XR-100T bekerja sangat baik sebagai detektor sinar-x dan sinar

gamma. Model detektor ini menggunakan jendela Be dan mempunyai efisiensi yang baik.



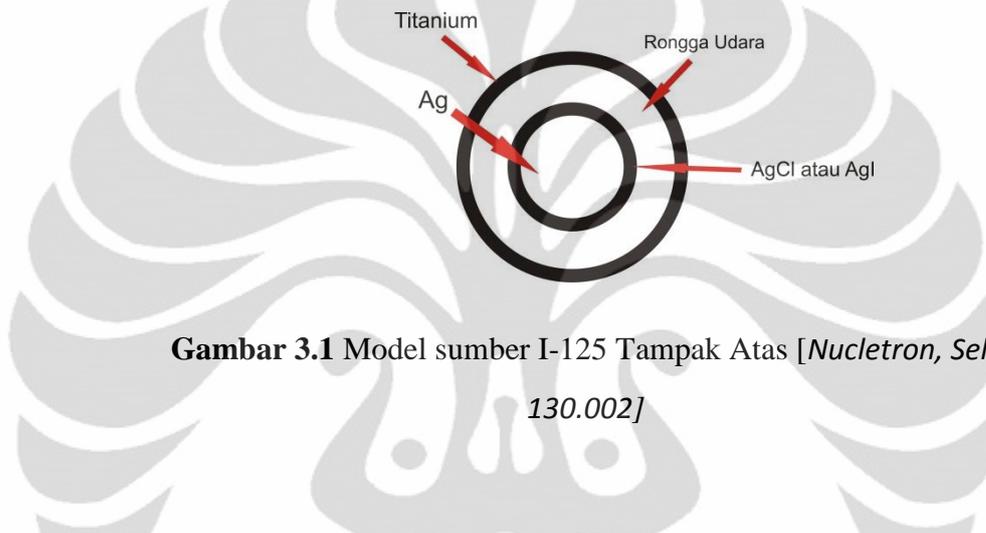
Gambar 2.2 Detektor AMPTEK CdTe [*amptek.com, 2011*]

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Simulasi

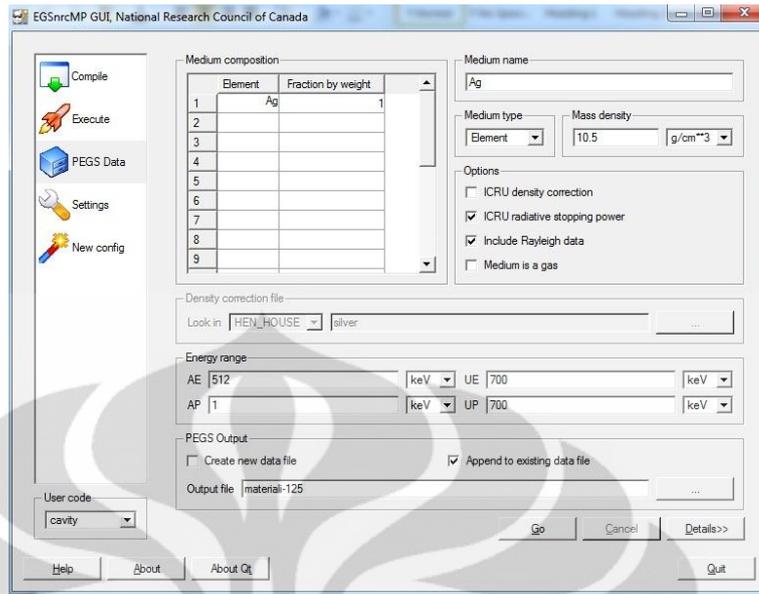
Perhitungan spektrum Iodium-125 dengan cara simulasi menggunakan perangkat lunak EGSgui dan EGSinprz. EGSgui digunakan untuk menentukan material apa saja yang akan digunakan pada simulasi. Sedangkan dalam bagian pemodelan ini, EGSnrc digunakan untuk membuat model dari sumber Iodium-125.



Gambar 3.1 Model sumber I-125 Tampak Atas [*Nucletron, SelectSeed, 130.002*]

3.1.1 Penentuan dan Perencanaan Material I-125

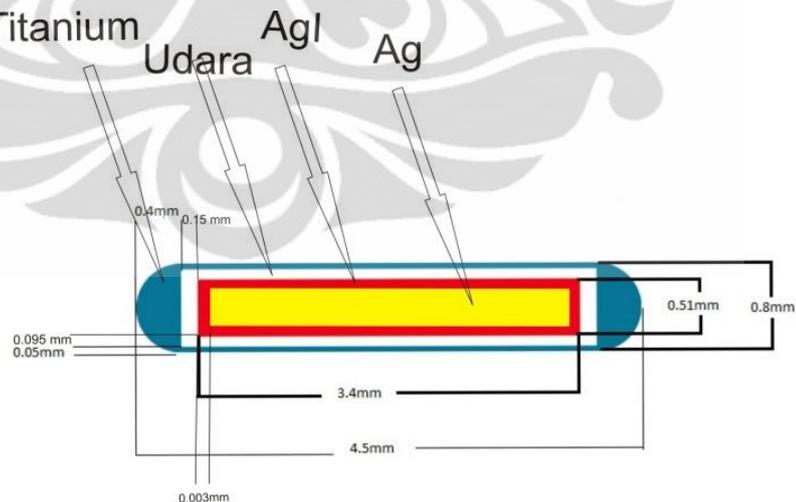
Material yang diperlukan untuk membuat model untuk simulasi I-125 adalah Titanium, Ag, AgCl atau AgI dan Udara. Selanjutnya material tersebut didefinisikan menggunakan software EGSgui. Gambar 3.2 adalah tampilan dari software EGSgui. Hasil keluaran dari data yang dihasilkan dalam bentuk *.pegs4dat*.



Gambar 3.2 Tampilan dari EGSgui

3.1.2 Penentuan Model Iodium-125

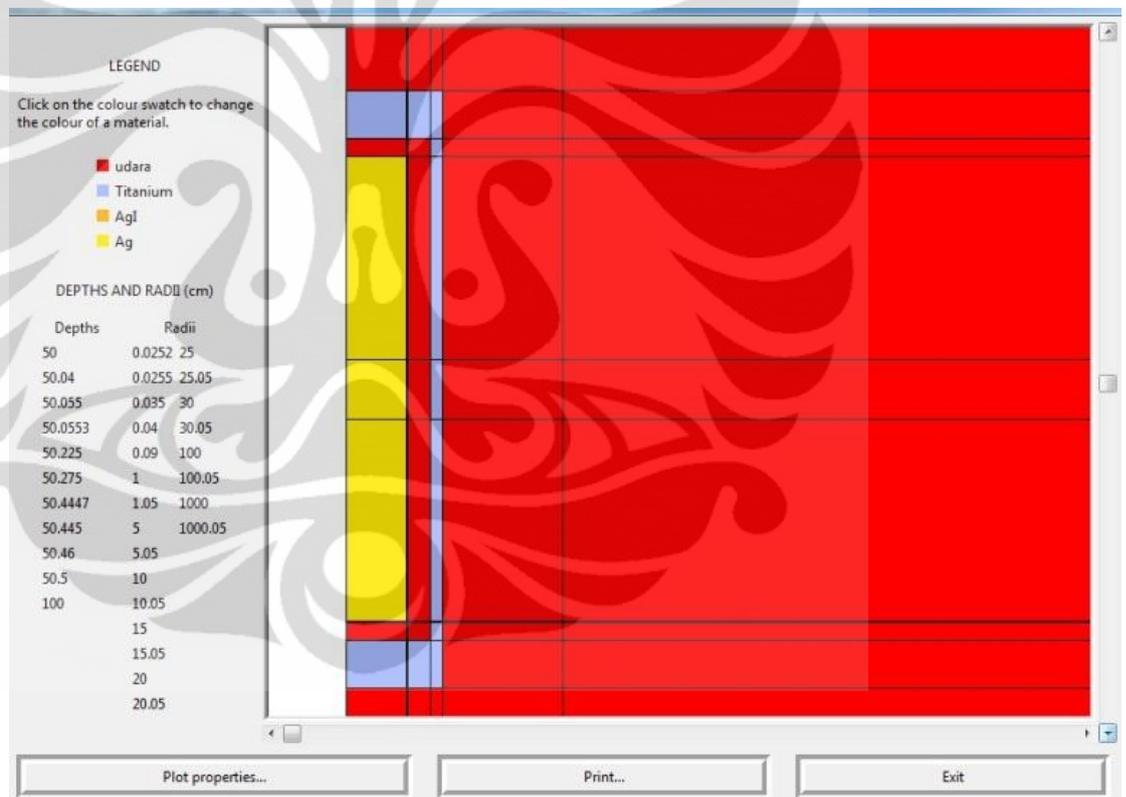
Pada gambar 3.3, dapat dilihat penentuan model sumber iodium tampak atas dan material yang digunakan pada simulasi yang akan kerjakan. Sumber I-125 memerlukan material berupa Ag, AgCl (Halida Perak).



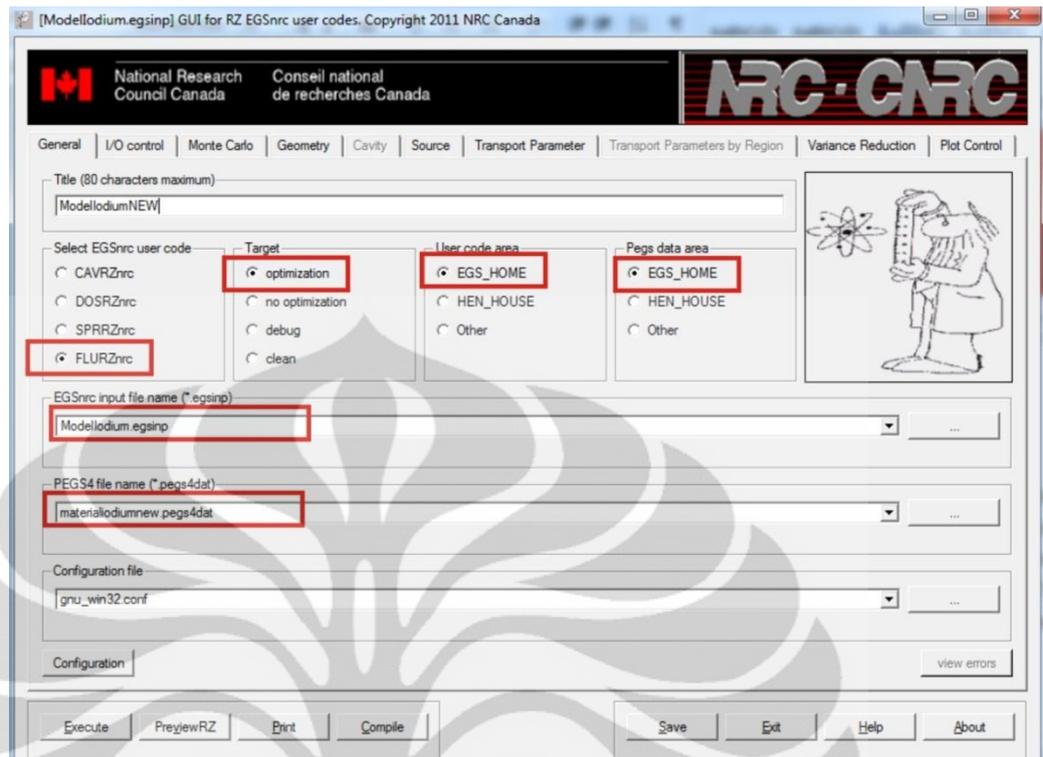
Gambar 3.3 Model Iodium-125 Tampak Samping

Gambar 3.4 (a) Model I-125 yang sudah dibelah (b) Penentuan region dan rancangan model untuk EGSnrc

Pada gambar 3.4(b) kedalaman untuk model ditambah 50cm, untuk memberikan area sampai kedalaman 100cm. Pada gambar 3.4(b) juga terdapat angka 2,3,4,5 sampai 56, itu adalah *region*. *Region* yang digunakan 254 *region* karena model dibuat sampai radius 1000cm. Penambahan area sampling sebesar 0.05cm, sumber I-125 akan ditempatkan pada area ini. Perencanaan model akan dibuat dengan menggunakan perangkat lunak EGSnrc.



Gambar 3.5 Hasil model di EGSnrc



Gambar 3.7 Pengaturan EGSnrc pada tab general

Egsnrc *input file name* adalah file dari model simulasi yang sudah dibangun, yang telah dirancang model simulasi sebelumnya atau dengan memasukan nama file baru. Pada kolom *PEGS4 file name* adalah *input* dari file material EGSgui yang sudah didefinisikan materialnya sebelumnya. Tombol Execute untuk menjalankan proses simulasi.

Pada tab monte carlo, nilai number of historisnya sebesar 30.000.000 (tiga puluh juta), pada tab *geometry* bagian *depth* memasukan kedalaman yang diperlukan sesuai dengan model yang sudah rancang, begitu juga pada bagian *radius* memasukan parameter *radius* yang diperlukan, pada bagian media input dimasukan data region yang telah dimodelkan pada excel sebelumnya.

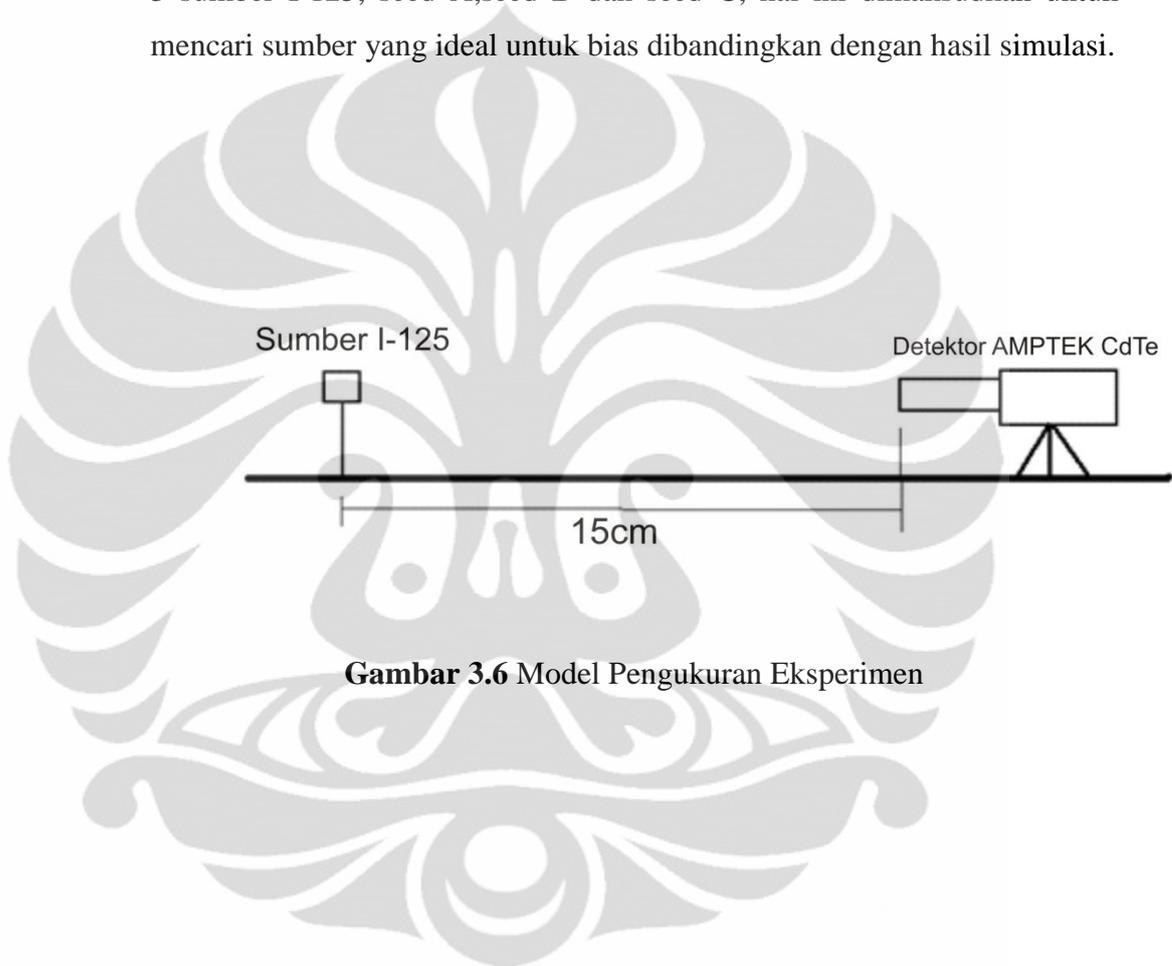
3.1.3 Penentuan Input Spektrum Simulasi

Input Spektrum yang dimasukan seperti yang terdapat pada lampiran 1. Terdapat 10 energi input dengan relatif probabilitas yang berbeda-beda.

Universitas Indonesia

3.2 Metode Eksperimen

Pengambilan data eksperimen dilakukan di BATAN pasar jumat pada tanggal 21 Maret 2011. Pengambilan data eksperimen menggunakan detektor CdTe dan software AMTEK. Pengukuran dilakukan selama 3600s dengan penguatan sebesar 30,31. Pengukuran dengan menggunakan 3 sumber I-125, seed A, seed B dan seed C, hal ini dimaksudkan untuk mencari sumber yang ideal untuk bias dibandingkan dengan hasil simulasi.



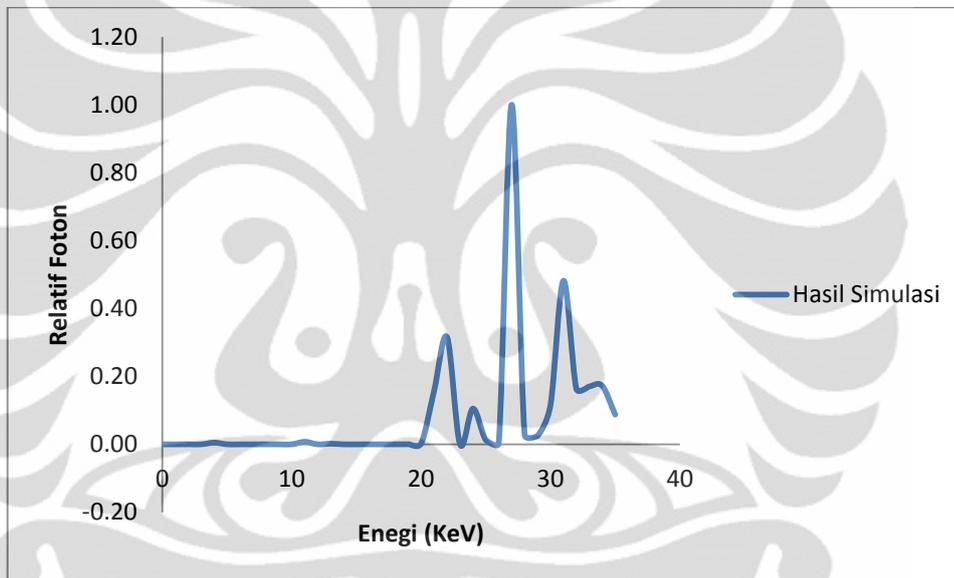
Gambar 3.6 Model Pengukuran Eksperimen

BAB 4

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Spektrum yang dihasilkan oleh simulasi EGSinprz kondisinya sangat ideal. Penentuan spektrum dengan simulasi dilakukan pada jarak 100cm, 30cm, 25cm, 20cm, 15cm, 10cm, 5cm dan 1cm, simulasi dilakukan pada udara kering. Perbandingan simulasi dan eksperimen dilakukan pada jarak 15cm, karena pada eksperimen hanya digunakan jarak 15cm.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Simulasi I-125 pada Jarak 15cm

Pada gambar 4.1 bisa dilihat ada 6 puncak diatas energi 15KeV. Hal ini sesuai dengan sumber I-125 yang mempunyai energi pada 4 KeV, 35,5 Kev, 27 Kev, 27-32 Kev dan 31 KeV, sedangkan pada hasil simulasi puncak energy terdapat pada energi 4Kev, 22 KeV, 24 KeV, 27 KeV, 31KeV dan 32 KeV seperti yang terlihat pada table 4.1. Grafik dibuat sebagai fungsi intensitas, nilai 1 adalah diposisi channel nilai count tertinggi untuk memudahkan pengamatan.

Tabel 4.1 Data Energi, Ralatif Foton dan FWHM pada Puncak Hasil Simulasi I-125 pada Jarak 15cm

Puncak ke	Energi (KeV)	Relatif Foton	FWHM (KeV)
1	4	0.01	0.01
2	22	0.32	0.32
3	24	0.11	0.05
4	27	1	0.5
5	31	0.48	0.34
6	33	0.17	0.26

4.2 Hasil Eksperimen

Hasil pengukuran eksperimen didapatkan dari tampilan dan pada perangkat lunak ADMCA AMTEK, perangkat ini merupakan perangkat bawaan dari detektor AMTEK CdTe. Untuk evaluasi hasil berupa grafik bisa dilihat nilai sebenarnya dengan menggunakan perangkat lunak *notepad*.



Gambar 4.2 Tampilan Spektrum yang tampak pada Perangkat Lunak AMPTEK ADMCA

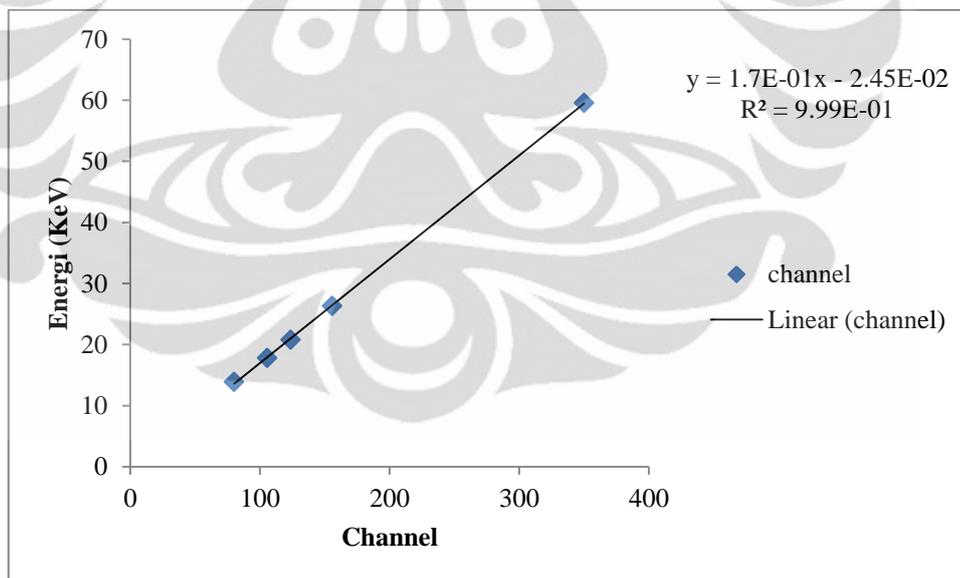
Data yang didapatkan dari ADMCA merupakan data cacahan di setiap *channel*. Untuk mendapatkan data energi pada *channel* spektroskopi harus dikalibrasi terlebih dahulu.

Kurva kalibrasi diperoleh dari pengukuran spektrum terhadap sumber yang diketahui nilai energinya. Hasil kalibrasi yang diperoleh dari lab dosimetri PTKMR, seperti terlihat pada table 4.2.

Tabel 4.2 Tabel kalibrasi channel terhadap energi

Channel	Energi (Kev)
80,01	13,9
105,58	17,8
123,71	20,8
155,58	26,345
350,09	59,537

Dari table 4.2 didapatkan persamaan untuk menjadikan nilai channel sama dengan nilai energi, persamaan seperti ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3 Channel vs Energi

Persamaan yang didapat adalah

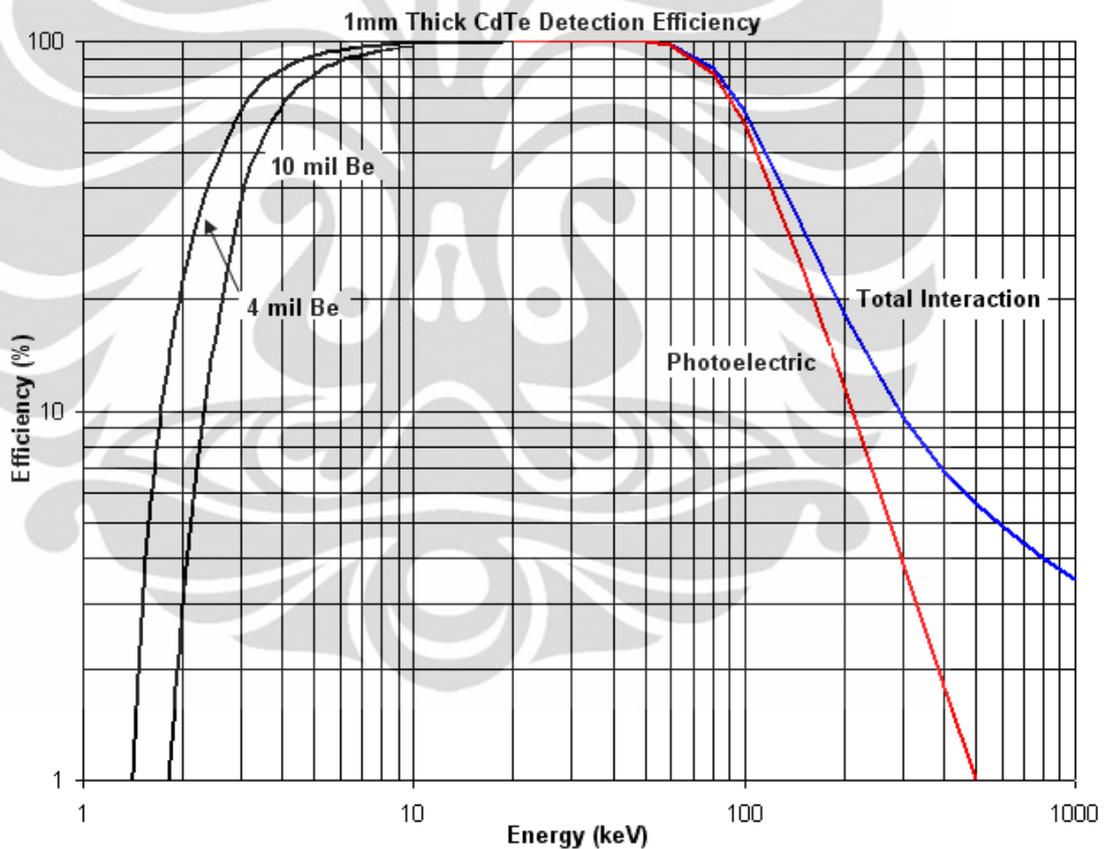
$$y = 1,7 \cdot 10^{-1} x - 2,45 \cdot 10^{-2} \quad (4.1)$$

dimana

Universitas Indonesia

y= nilai *channel* yang sudah dikalibrasi ke dalam energi dalam satuan KeV
 x= nilai *channel* sebelum dikalibrasi

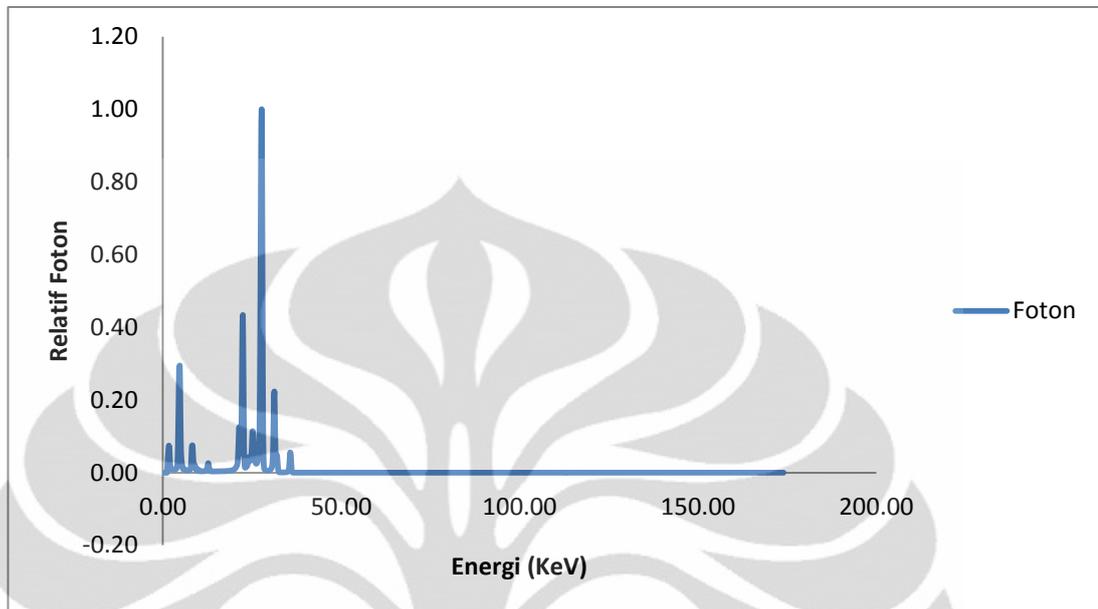
Dari persamaan 4.1, didapatkan energi yang terukur oleh spektroskopi. Spektrum yang terukur harus dikoreksi dengan efisiensi detektor terhadap radiasi yang terukur. Gambar 4.4 menunjukkan kurva efisiensi dari detektor CdTe. Detektor CdTe yang digunakan menggunakan filter Be 4mil. Setelah dikalikan dengan efisiensi, akan didapatkan data yang benar dari hasil eksperimen yang dilakukan.



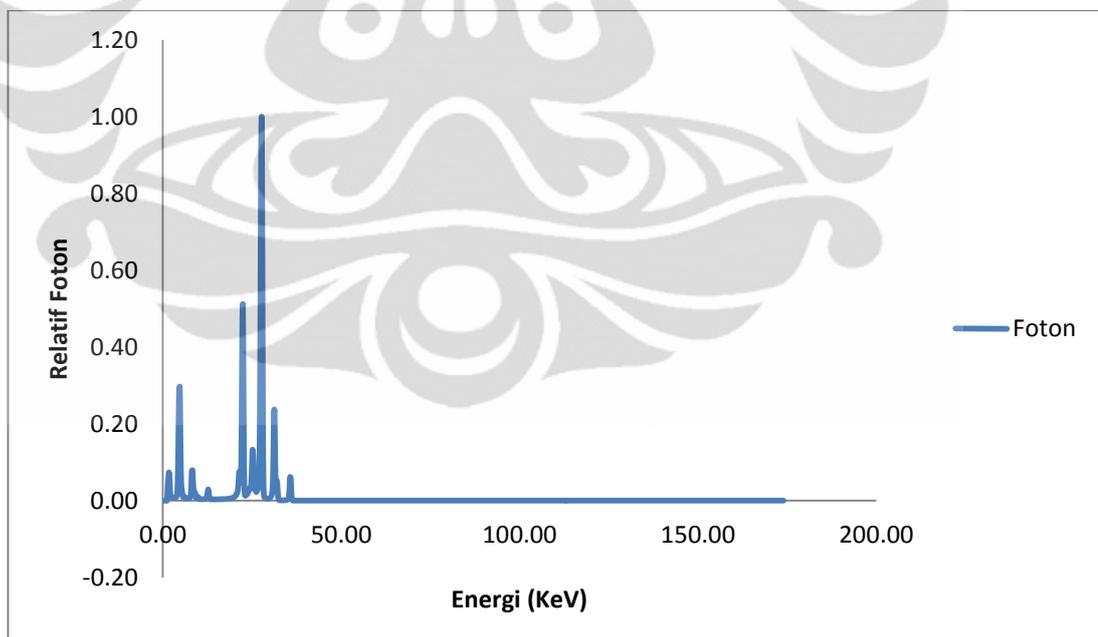
Gambar 4.4 Kurva Efisiensi dari CdTe [ampetek.com, 2011]

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa detektor CdTe sangat baik digunakan pada energi yang rendah dengan efisiensi sangat tinggi, tetapi untuk penggunaan energi diatas 100KeV, akan muncul nois akibat dari menurunnya efisiensi efek

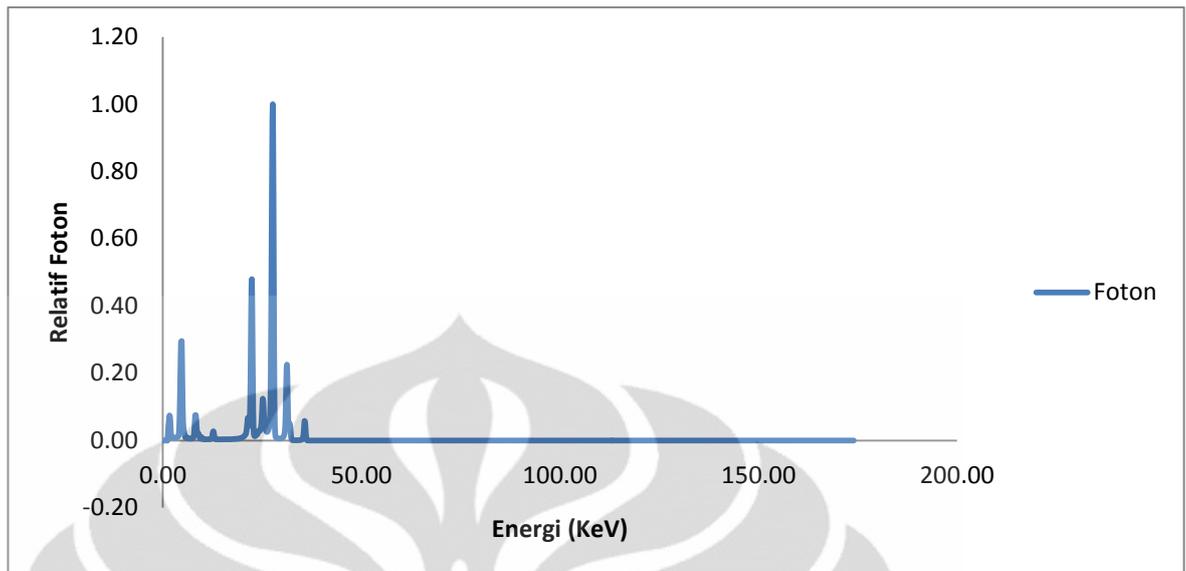
foto listrik dan interaksi total yang diakibatkan oleh *absorpsi* sehingga energi *background* tinggi dan resolusi menjadi menurun.



Gambar 4.5 Hasil Eksperimen dari Seed A



Gambar 4.6 Hasil Eksperimen dari Seed B



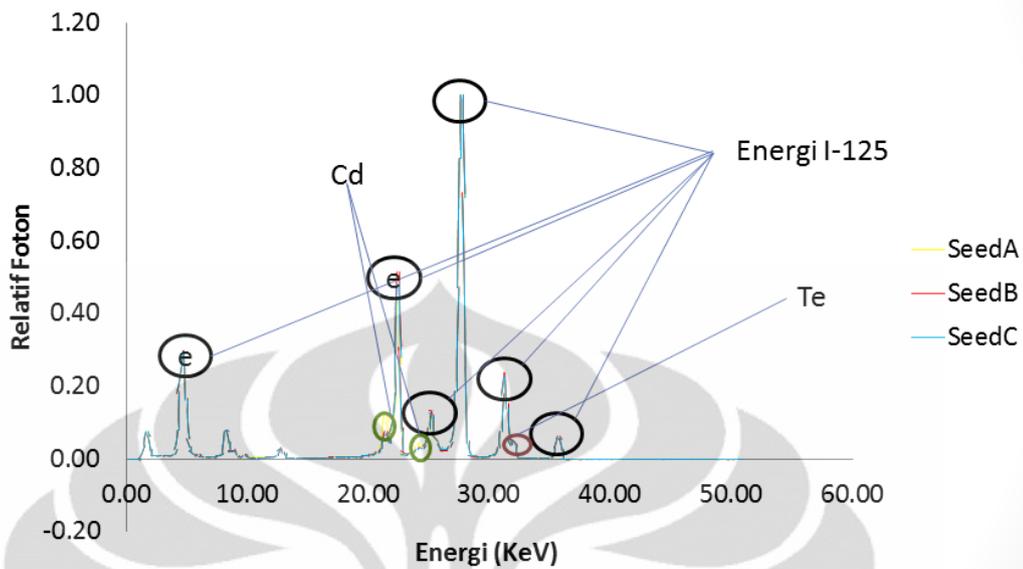
Gambar 4.7 Hasil Eksperimen dari Seed C

Terdapat 6 puncak yang didapat pada hasil eksperimen dimana 2 puncak pada energi 4,73 KeV dan 22, 41 KeV merupakan energi elektron dari I-125. Sedangkan puncak energi gamma untuk I-125 terdapat pada energi 25,29KeV, 27,68KeV, 31,25KeV dan 35,67KeV.

Detektor CdTe mempunyai sinar-x Fluoresensi kulit K. Foton yang datang akan mengakibatkan elektron di kulit K detektor CdTe keluar dan akan diisi oleh elektron di kulit selanjutnya. Proses ini menghasilkan sinar-x karakteristik unik untuk bahan ini. Puncak kecil pada energi 31,42 KeV merupakan energi dari Te dan pada energi 21,9 KeV dan 27 KeV adalah energi dari Cd. Sedangkan puncak kecil yang berada pada energi dibawah 15KeV merupakan energi karakteristik dari seed I-125.

Tabel 4.3 Energi Sinar X Fluoresensi Kulit K atom Cd dan Te

Materi	K edge (KeV)	Ka1 (KeV)	Ka2 (KeV)	Kb1 (KeV)	Kb2 (KeV)
Cd	26,704	22,982	23,172	26,093	26,641
Te	31,8	27,2	27,471	30,993	31,698



Gambar 4.8 Gabungan spektrum sumber A, B dan C

Tabel 4.4 Energi puncak, Relatif Foton dan FWHM dari sumber A, B dan C

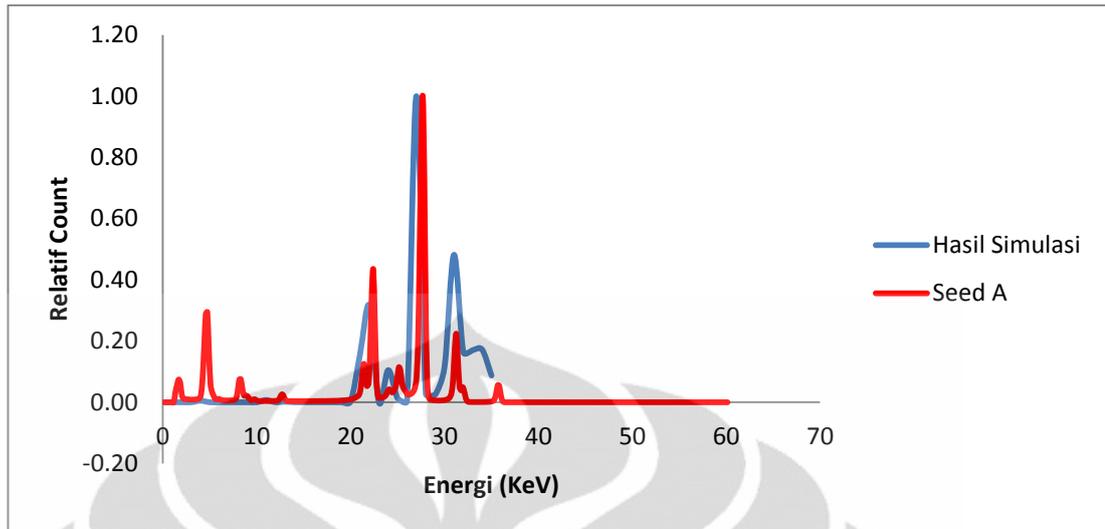
Puncak ke	Kev	Seed A		Seed B		Seed C	
		Relatif Foton	FWHM	Relatif Count	FWHM	Relatif Count	FWHM
1	4,73	0,29	0,09	0,3	0,09	0,3	0,09
2	22,41	0,43	0,09	0,51	0,13	0,48	0,1
3	25,13	0,1	0,06	0,12	0,06	0,11	0,05
4	27,68	1	0,4	1	0,25	1	0,25
5	31,25	0,22	0,05	0,24	0,08	0,23	0,07
6	35,67	0,05	0,02	0,06	0,02	0,06	0,03

Pada tabel 4.4 nilai relatif photon dan nilai dari FWHM dari puncak 3 sumber relatif berdekatan nilainya. Nilai FWHM yang berdekatan dan kecil memperlihatkan bahwa detektor CdTe mampu memisahkan energi foton dengan baik.

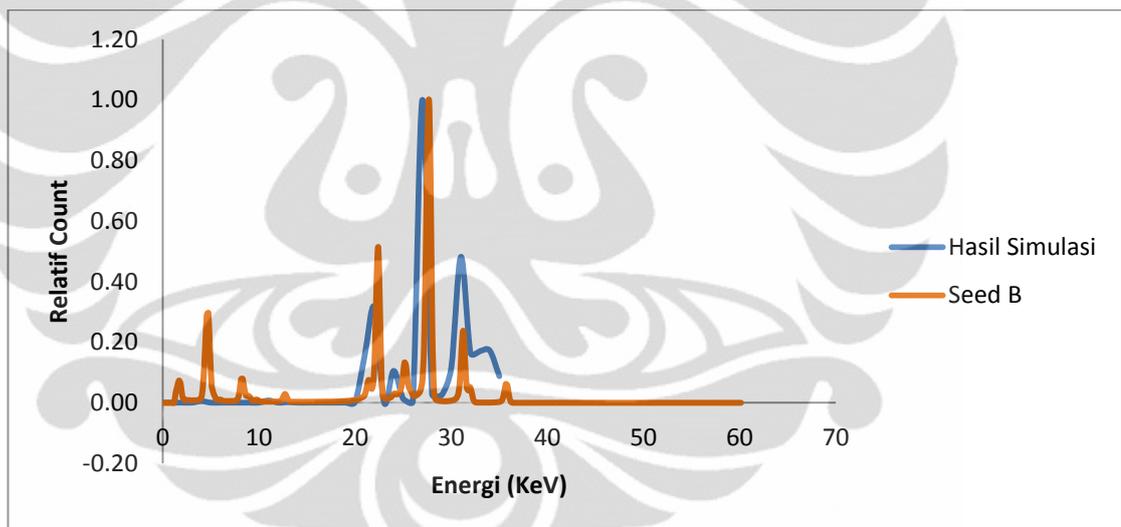
4.3 Perbandingan Hasil Eksperimen dengan simulasi

Dari gambar 4.9, 4.10, 4.11 dapat dilihat bahwa hasil simulasi mempunyai puncak yang sama dengan hasil eksperimen. Ini mengindikasikan bahwa proses simulasi yang dilakukan merupakan simulasi I-125.

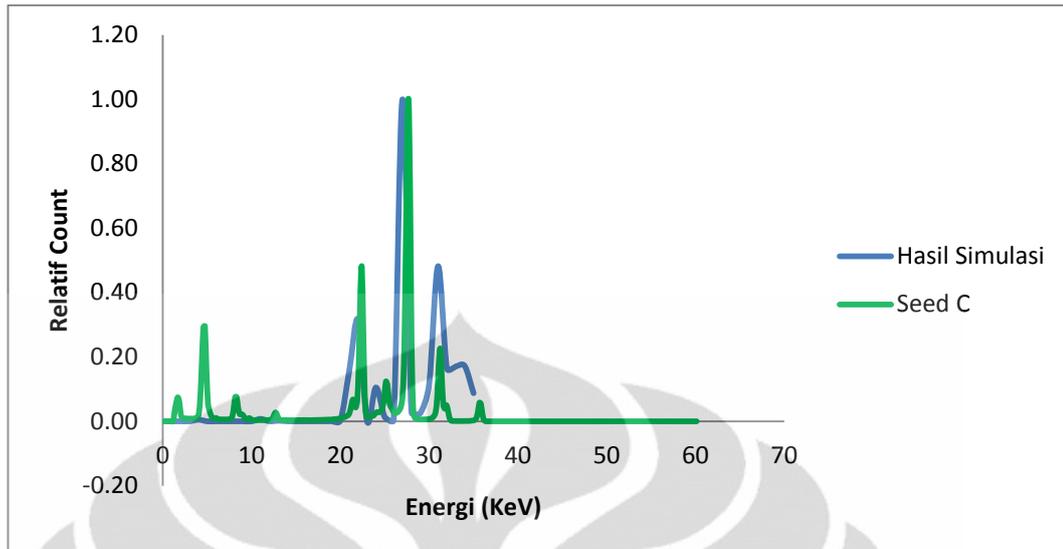
Universitas Indonesia



Gambar 4.9 Grafik Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan Eksperimen sumber A pada jarak 15cm



Gambar 4.10 Grafik Hasil Perbandingan Hasil Simulasi dengan Eksperimen sumber B pada Jarak 15cm



Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen Sumber C pada Jarak 15cm

Pada Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11 dapat dilihat tidak adanya perbedaan yang berarti dari hasil simulasi dan hasil eksperimen kecuali pada energi dibawah 15KeV menghilang. Hal ini dikarenakan input simulasi yang kita gunakan hanya untuk energi gamma diatas 15KeV. Input yang digunakan pada simulasi 10 energi namun yang terlihat menjadi puncak pada hasil simulasi hanya 6 puncak.

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari Eksperimen dan Simulasi kita dapat menarik kesimpulan

1. Berdasarkan hasil eksperimen X-ray bremsstrahlung dari elektron yang keluar dari sumber I-125 pada energi 4 KeV dan 22 KeV.
2. Berdasarkan hasil eksperimen terlihat 6 puncak energi untuk I-125 yaitu 4,73 KeV, 22,41 KeV, 25,13 KeV, 27,68 KeV, 31,25 KeV dan 35,67 KeV.
3. Hasil eksperimen memperlihatkan adanya energi dari Te yaitu 31,42 KeV dan Cd 21,9 KeV dan 27 KeV.
4. Hasil simulasi memperlihatkan hasil spektrum yang identik dengan hasil eksperimen hanya pada energi 4 KeV intensitas hasil simulasi sangat kecil.
5. Nilai FWHM pada detektor lebih kecil bila dibandingkan dengan simulasi karena resolusi detektor lebih kecil dari simulasi yaitu 0,17 KeV sedangkan untuk simulasi 1KeV
6. Pada hasil eksperimen ada beberapa puncak yang belum diketahui asalnya yaitu pada energi 1,68 KeV, 8,13 KeV dan 12,55 KeV

5.2 Saran

Jika memungkinkan ambil data dengan menggunakan detektor lain untuk bisa dibandingkan hasilnya.

DAFTAR ACUAN

1. Taylor, R. E. P., dan D. W. O. Rogers. *Nucletron, SelectSeed, 130.002*. Canada Capital University
2. Furstoss, C., et al. (2008). *Monte Carlo iodine brachytherapy dosimetry: study for a clinical application*. Third McGill International Workshop: Journal of Physics: Conference Series 102 (2008) 012011
3. Fauzi, Ahmad. (2010). *Analisa Spektrum Pengukuran Pada Tabung Pesawat Sinar X YT.U 320-D03 dengan Metode Simulasi*. Depok: Universitas Indonesia
4. Nath, Ravinder, Lowell L Anderson, dkk (1995) *Dosimetry of Interstitial Brachytherapy Sources*. Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 43.
5. Cember, H., dan Thomas E Jhonson. (2009). *Introduction to Health Physics*. (Ed. ke-4). New York: The McGraw-Hill Companies
6. Roger, D.W.O et al.(2006). *NRC user codes for EGSnrc..* Canada :National Research Council of Canada.
7. Mainegra,Ernesto et al (2005). *User Manual egs_inprz a GUI for the nrc RZ user-codes*. Canada : National Research Council of Canada.
8. Subekti, R Muhammad et al (2010). *Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Analisis Spektrum Gamma Hasil Aktivasi Neutron*. Jakarta: Tri Dasa Mega
9. <http://www.amptek.com/xrf.html> 20 Mei 2011 pukul 20.00

Lampiran 1

Input Skema Peluruhan I 125 untuk simulasi

10, .027,0

0.027202, 53.7

0.0274726, 113

0.0309446, 14

0.030996, 14

0.031223, 14

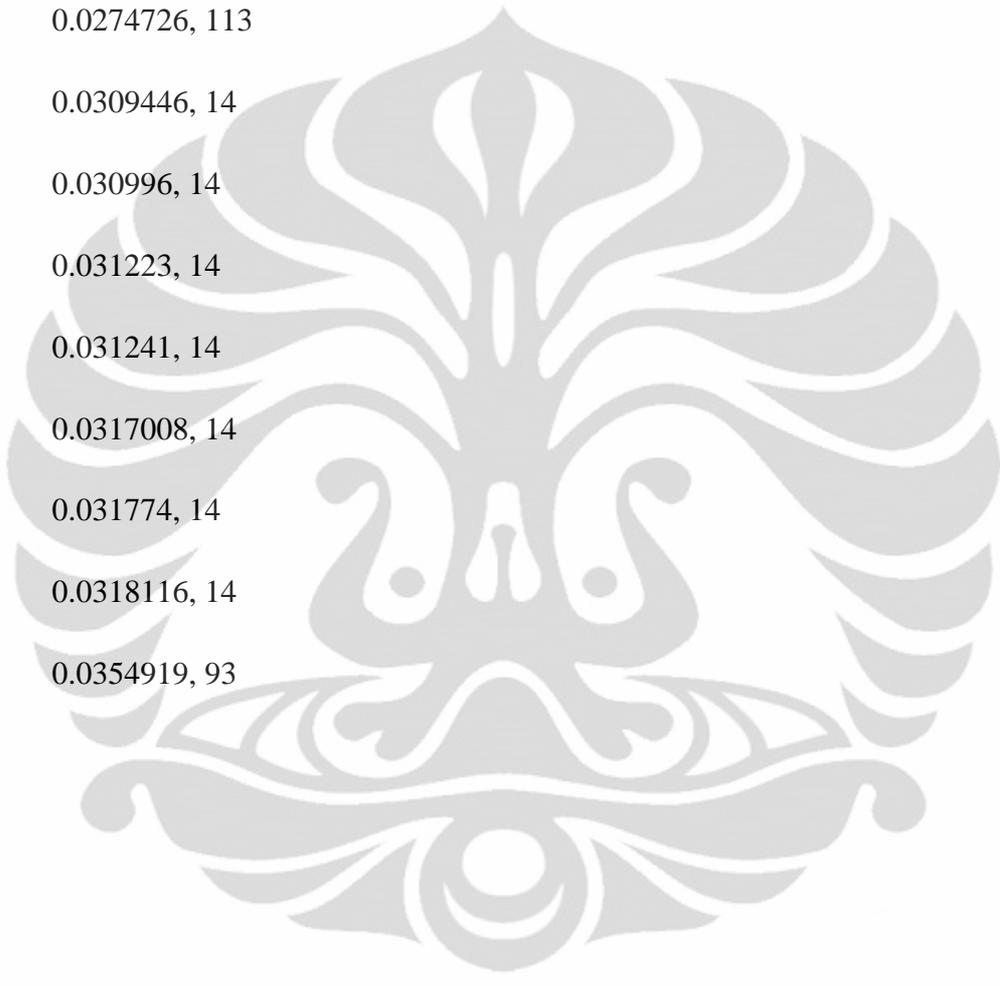
0.031241, 14

0.0317008, 14

0.031774, 14

0.0318116, 14

0.0354919, 93



Lampiran 2

Data hasil simulasi pada region 139, jarak 15cm dari sumber.

Tue Apr 26 15:40:46 2011

Depth coordinates: 50.2250 TO 50.2750 cm REGION =139

Radial coordinates: 15.0000 TO 15.0500 cm

Total fluence/(MeV)/source particle

	Bintop	electrons	photons	positrons	e(-) + e(+)
	-----	-----	-----	-----	-----
0.0010	1.189E-06+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	1.189E-06+-99.9%
0.0020	1.283E-06+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	1.283E-06+-99.9%
0.0030	0.000E+00+-99.9%	1.347E-05+-71.2%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0040	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0050	-0.000E+00+-99.9%	-2.855E-04+-15.8%	-0.000E+00+-99.9%	-0.000E+00+-99.9%	-0.000E+00+-99.9%
0.0060	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0070	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0080	4.793E-06+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%	4.793E-06+-99.9%

0.0090 3.040E-06+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 3.040E-06+-99.9%
0.0100--0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%
0.0110 3.603E-06+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 3.603E-06+-99.9%
0.0120 5.725E-06+-75.6% 5.047E-04+-11.8% 0.000E+00+-99.9% 5.725E-06+-75.6%
0.0130 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0140 2.610E-06+-99.9% 1.059E-04+-25.8% 0.000E+00+-99.9% 2.610E-06+-99.9%
0.0150--0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%
0.0160 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0170 1.141E-06+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 1.141E-06+-99.9%
0.0180 5.966E-06+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 5.966E-06+-99.9%
0.0190 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0200--0.000E+00+-99.9%-3.875E-05+-44.6%-0.000E+00+-99.9%-0.000E+00+-99.9%
0.0210 0.000E+00+-99.9% 1.232E-04+-29.2% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0220 0.000E+00+-99.9% 1.037E-02+- 2.6% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0230 0.000E+00+-99.9% 2.128E-02+- 1.8% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%
0.0240 0.000E+00+-99.9% 4.244E-05+-39.4% 0.000E+00+-99.9% 0.000E+00+-99.9%

0.0250	-0.000E+00+-99.9%	-6.633E-03+- 3.3%	-0.000E+00+-99.9%	-0.000E+00+-99.9%
0.0260	0.000E+00+-99.9%	8.103E-04+- 9.7%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0270	0.000E+00+-99.9%	3.682E-04+-14.4%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0280	0.000E+00+-99.9%	5.698E-02+- 1.1%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0290	0.000E+00+-99.9%	3.477E-03+- 4.5%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0300	-0.000E+00+-99.9%	-3.203E-03+- 4.7%	-0.000E+00+-99.9%	-0.000E+00+-99.9%
0.0310	0.000E+00+-99.9%	1.476E-02+- 2.2%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0320	0.000E+00+-99.9%	3.288E-02+- 1.5%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0330	0.000E+00+-99.9%	1.135E-02+- 2.5%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0340	0.000E+00+-99.9%	1.142E-02+- 2.5%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%
0.0350	-0.000E+00+-99.9%	-1.143E-02+- 2.5%	-0.000E+00+-99.9%	-0.000E+00+-99.9%
0.0360	0.000E+00+-99.9%	5.671E-03+- 3.5%	0.000E+00+-99.9%	0.000E+00+-99.9%

Totals	2.816E-08+-50.3%	1.918E-04+- 0.6%	0.000E+00+-99.9%	2.816E-08+-50.3%
Avg E	1.149E-02+-15.7%	2.862E-02+- 0.1%	0.000E+00+-1.5%	1.149E-02+-15.7%