



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN AKURASI KOREKSI SPEKTRUM DETEKTOR CdTe
DENGAN PENINGKATAN RESOLUSI MATRIKS PADA METODE
UNFOLDING**

SKRIPSI

IMAM NURHUDA

0606068272

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
DESEMBER 2011**

37

Universitas Indonesia



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENINGKATAN AKURASI KOREKSI SPEKTRUM DETEKTOR CdTe
DENGAN PENINGKATAN RESOLUSI MATRIKS PADA METODE
UNFOLDING**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains

**IMAM NURHUDA
0606068272**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI FISIKA
DEPOK
DESEMBER 2011**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Imam Nurhuda

NPM : 0606068272

Tanda Tangan : 

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Imam Nurhuda
NPM : 0606068272
Program Studi : Fisika *S-1 Reguler*
Judul : Peningkatan Akurasi Spektrum Sinar X pada
Metode Unfolding Menggunakan Pemodelan
Detektor CdTe di Medium Vakum

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

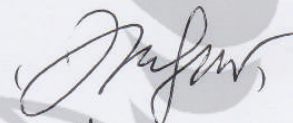
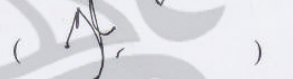
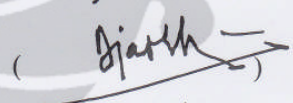

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno K.S, M.Si

Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.Si

Penguji I : Prof. DR. Djarwani Socharso S

Penguji II : Kristina Tri Wigati

()
()
()
()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 14 Desember 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya . Shalawat serta salam semoga selalu kita limpahkan kepada Nabi Muhammad saw, seorang yang berperan besar dalam penyebaran risalah Islam, sehingga umat manusia selamat dari kenistaan dunia dan akhirat.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT penulis telah berhasil menyelesaikan skripsi ini. Sebuah perjalanan panjang untuk bisa menyelesaikan kuliah ini dengan perjuangan dan pengorbanan yang menguras han hati penulis ingin menyampaikan rasalasan yang baik, kepada semua pihak yang turut membantu dalm proses penulisan skripsi ini. Mereka diantaranya adalah:

1. Bapak Dwi Seno K M.Si selaku dosen pembimbing satu penulis yang telah banyak memberikan arahan dan saran sehingga penulis mendapatkan apa yang harus penulis lakukan dalam penulisan skripsi ini.
2. Bapak Heru Prasetyo M.Si selaku pembimbing 2 penulis yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan mengajarkan penulis tentang penelitian ini sehingga penulis mendapatkan kemudahan dalam kegiatan tersebut.
3. Prof. Dr. Djarwani S selaku penguji pertama dan Mbak Khrisna Tri Wigati, M.Si selaku penguji kedua
4. Prof.Dr.rer.nat.Rosari Saleh selaku PA (*Pembimbing Akedemis*) yang telah banyak membantu penulis selama masa perkuliahan dengan arahan dan sarannya
5. Pak Susanto selaku ketua peminatan fisika medis yang telah memberikan saran dan rekomendasi kepada penulis dalam menyusun proposal penelitian ini.

6. Seluruh staf pengajar departemen fisika yang telah memberikan ilmu-ilmunya kepada penulis baik yang bermanfaat langsung dalam penulisan skripsi ini, maupun yang bermanfaat untuk diri penulis dimasa yang akan datang, semoga ilmu-ilmu yang telah diajarkan dicatat sebagai amal ibadah kepadaNya baik bagi penulis maupun bagi para staf pengajar.
7. Kepada kedua orang tua penulis, ayah dan ibu rahimakumullah yang telah membesarkan dan mendidik ananda sehingga menjadi seperti ini. Semoga segala pengorbanan engkau berdua mendapatkan balasan yang terbaik dari sang pemberi balasan terbaik, Allah SWT.
8. Istri penulis, Sandra Amelia.S.Kep yang memberikan banyak dukungan dengan rasa cinta dan kasih sayang. Rela berjuang bersama dalam suka dan duka kehidupan, turut membantu penulis dalam proses pengolahan data serta menyumbangkan ide kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan engkau dengan rahmat dan ampunan-Nya.
9. Kepada seluruh anggota keluarga, kakak-kakak, adik penulis yang telah banyak memberikan semangat disetiap sisi perjalanan kuliah ini.
10. Kepada seluruh teman-teman fisika UI dan teman-teman fisika angkatan 2006 khususnya, Sahrulloh, Agus Supriatna, Habib Al Jufri, Oktavian Latief, Ahmad Fauzi, Harris Setyo F, Rhyan Edwin, Andrew Al Fajrin, yang telah menjadi sahabat baik penulis dalam setiap perjalanan dan perjuangan dikampus perjuangan Universitas Indonesia.

Tidak lupa pula rasa terimakasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada lembaga kemahasiswaan yang ada dikampus, diantaranya adalah

1. HMD Fisika UI angkatan 2007 (Mika Hadi, Syahrial Nurul Huda, Intan Aprillia, Nurrahmi Putri, Afrizaldi, Vivi Oktaviani, Emidatul Manzil) yang telah membantu penulis dalam menjalankan program kerja kelembagaan di tahun tersebut
2. Mushalla 'Izzatul Islam (MII) angkatan 2009 (Alfaris, Adriansyah, Dzil, Didin, Tedy, Imam, Indra, Hifzi, Firman, Ali, Rani, Anis, Nany Nurul Husna, Christy, Tika, Desi, Bandu, Fitri, Rani, Ninin, Lili, Nurlita, Nurrachmi, Fuji, Citra dan

Nita) yang telah membantu penulis dalam menjalankan amanah di tahun tersebut.

3. BEM FMIPA UI terutama PSDM BEM FMIPA UI 2008 yang telah meringankan beban penulis dalam menjalankan perkuliahan
4. SALAM UI yang telah banyak mengajarkan pula kepada hamba untuk bisa responsive dan peduli kepada orang lain sekaligus juga berperan dalam perubahan dimasyarakat kearah yang lebih baik.
5. Kepada Forum Siltaurhami mahasiswa PELANGI yang telah menjadi sahabat dan forum diskusi

Diakhir kata penulis hanya bisa berharap semoga semua pihak yang telah membantu mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT, dan semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca.

Depok, 20 Desember 2011

Imam Nurhuda

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

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

Nama : Imam Nuhuda

NPM : 0606068272

Program Studi : Fisika Medis

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

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

Peningkatan Akurasi Spektrum Sinar X pada Metode Unfolding Menggunakan Pemodelan Detektor CdTe di Medium Vakum

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengolah 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

Tanggal : 20 Desember 2011

Yang menyatakan



(Imam Nurhuda)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Imam Nurhuda
Program studi : Fisika Medis
Judul : Peningkatan Akurasi Spektrum Sinar X pada Metode Unfolding
Menggunakan Pemodelan Detektor CdTe di Medium Vakum

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan koreksi hasil pengukuran spektrum sinar-x menggunakan detektor CdTe dengan metode unfolding untuk menghilangkan noise atau sinyal yang tidak diinginkan. Hasil koreksi ternyata kurang baik karena menunjukkan adanya loncatan hasil koreksi pada rentang energi antara 30 keV sampai 40keV. Matriks responnya diperbaiki dengan pemodelan detektor dalam keadaan vakum sehingga diperoleh matriks respon baru yang digunakan untuk proses koreksi. Pemodelan dibentuk dengan simulasi monte carlo yang aplikasinya terdapat pada program EGSnrc. Proses koreksi dilakukan menggunakan metode Unfolding dan hasilnya menunjukkan noise yang terbaca pada detektor CdTe dapat lebih diminimalisir. Sehingga perbaikan matriks respon dengan cara memodel ulang simulasi detektor berhasil dilakukan.

Kata Kunci : Radiasi, pengukuran radiasi, detektor CdTe, respon matriks, spektrum sinar X, , simulasi monte carlo, program *Heprow*

xiii+40 halaman : 16 gambar; 1 tabel

Daftar Pustaka : 9 (1989-2011)

ABSTRACT

Name : Imam Nurhuda
Programme study : Medical physic
Title : Improved accuracy of the correction spectrum of CdTe detector with improved resolution of matrix on the method of unfolding

Most applications of nuclear techniques depend on results measurement of radiation, especially to measure the intensity or dose radiation of radiation. Measurement of x-ray spectra using CdTe detector will produce spectra characteristic of detector. so that spectrum known as noise must be corrected by the method of unfolding in order to obtain the actual x-ray spectrum. Accuracy improvement of the correction relating to the resolution of the detector response matrix, the response matrix is formed using monte carlo simulation methods and Heprow program. With an ideal detector modeling, will get a correction factor which produces more accurate output.

Key words : CdTe detector, response matrix, x-ray spectra, Monte Carlo simulation, Heprow programe
xiii+40 pages : 17 pictures; 1 table
Bibliography : 9 (1989-2010)

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	1
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	8
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	10
DAFTAR ISI	11
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	14
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.5.1 Metode Kepustakaan	3
1.5.2 Simulasi	4
1.5.3 Verifikasi	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Sumber Radiasi Sinar X.....	6
2.1.1 Sinar X Karakteristik.....	7
2.1.2 Sinar x Bremsstrahlung.....	7
2.2 Interaksi Radiasi Terhadap Materi.....	8
2.2.1 Efek Fotolistrik	8
2.2.2 Efek Compton.....	9
2.3 Detektor CdTe	11
2.4 Unfolding.....	14
2.5 Program EGSnrc.....	15
2.6 Program Heprow.....	15

2.6.1	Program UMSPHW	15
2.6.3	Program RSPGW	17
2.6.4	Program GRAVELW	18
2.5.5	Program UNFANAW	19
2.6.6	Program MIEKEW	19
2.6.7	Program PLOFW dan PLOTAW.....	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		20
3.1	File Input.....	20
3.2	Fungsi Respon	20
3.3	Struktur Matriks Respon.....	22
3.4	Konversi Format data Simulasi.....	24
3.5	Proses Unfolding	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Respon detektor CdTe.....	25
4.2	Data Pengukuran.....	27
4.3	Hasil Peningkatan Koreksi Spektrum	30
BAB V PENUTUP.....		36
5.1	KESIMPULAN.....	36
5.2	SARAN & REKOMENDASI.....	36
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN.....		38

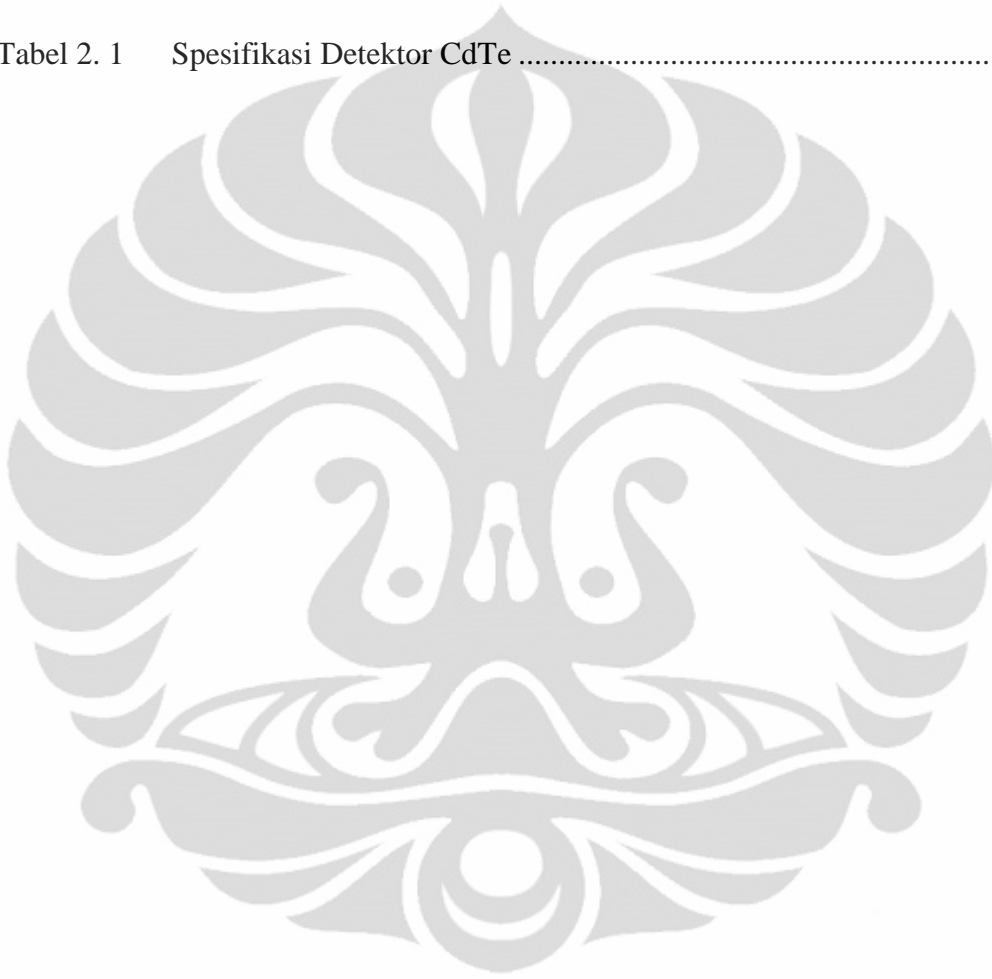
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Permodelan detektor skripsi Sahrulloh ¹	2
Gambar 2.1	Skema tabung sinar katoda.....	5
Gambar 2.2	Proses terjadinya sinar x Breemmstrahlung.....	7
Gambar 2.3	Peristiwa efek fotolistrik.....	8
Gambar 2.4	Peristiwa Efek Compton.....	9
Gambar 2.5	Struktur pita energi elektron.....	11
Gambar 2.6	Konstruksi detektor Semikonduktor.....	12
Gambar 2.7	Skema detektor dan interaksinya dengan sinar x.....	13
Gambar 3.1	Pemodelan simulasi	20
Gambar 3.2	Tampilan model simulasi program EGSnrc.....	21
Gambar 3.3	Bagan proses Unfolding.....	23
Gambar 4.1	Grafik trespon detektor CdTe terhadap sinar x monoenergi.....	24
Gambar 4.2	Grafik spektrum sinar x terhadap energi	27
Gambar 4.3	Grafik energi sinar x dengan fluense pada energi 40 keV.....	30
Gambar 4.4	Grafik energi sinar x dengan fluense pada energi 50 keV.....	31
Gambar 4.5	Grafik energi sinar x dengan fluense pada energi 70 keV.....	32
Gambar 4.6	Grafik energi sinar x dengan fluense pada energi 80 keV.....	33



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Spesifikasi Detektor CdTe	10
------------	---------------------------------	----



BAB 1

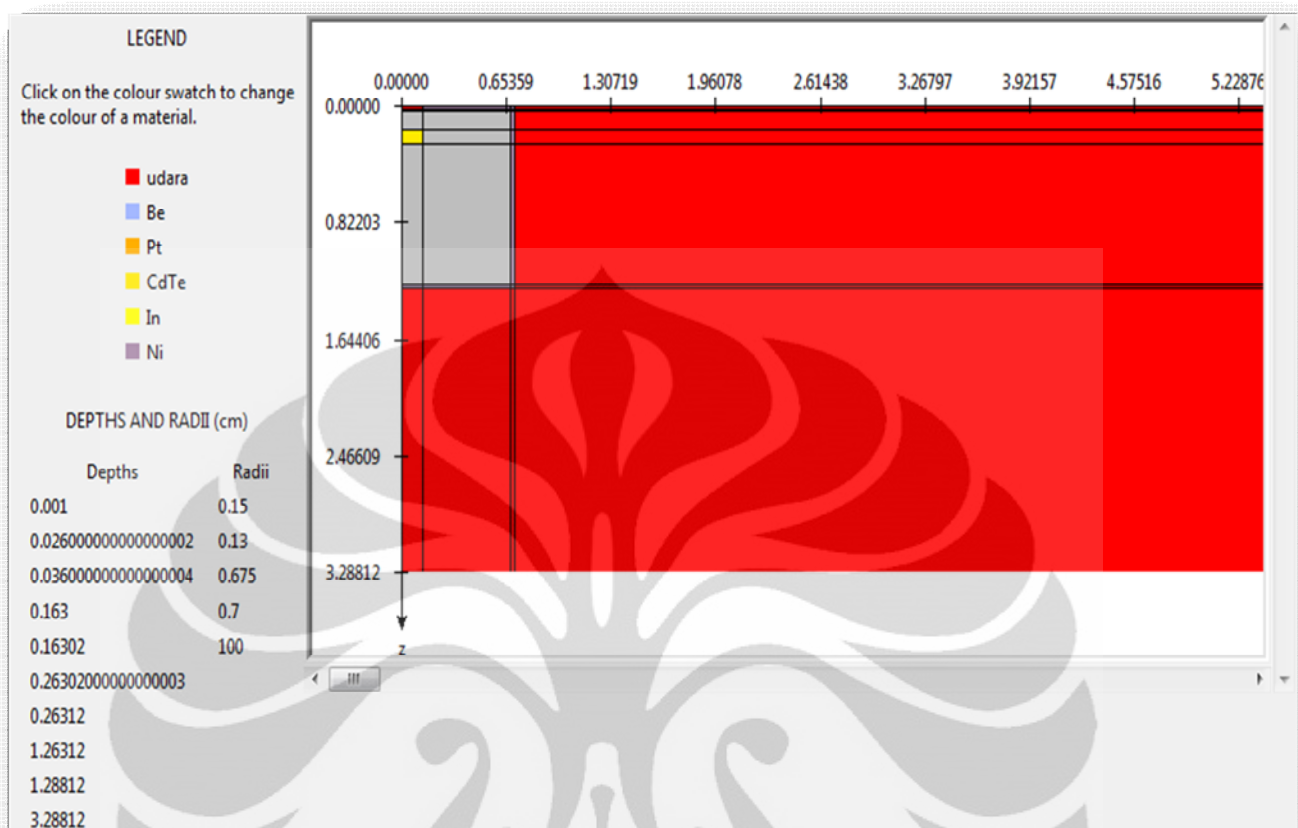
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi merupakan salah satu cara perambatan energi dari suatu sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium atau bahan penghantar tertentu. Salah satu bentuk energi yang dipancarkan secara radiasi adalah energi nuklir. Radiasi ini memiliki dua sifat yang khas, yaitu tidak dapat dirasakan secara langsung oleh panca indra manusia dan beberapa jenis radiasi dapat menembus berbagai jenis bahan.

Sebagaimana sifatnya yang tidak dapat dirasakan sama sekali oleh panca indera manusia, maka untuk menentukan ada atau tidak adanya radiasi nuklir diperlukan suatu alat, yaitu pengukur radiasi yang merupakan suatu susunan peralatan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi baik kuantitas, energi, atau dosisnya. Sebagian besar aplikasi teknik nuklir sangat bergantung pada hasil pengukuran radiasi, khususnya pengukuran intensitas ataupun dosis radiasi.

Pada skripsi yang ditulis oleh Sahrulloh yang berjudul “ Koreksi hasil pengukuran spektrum sinar-x menggunakan detektor CdTe dengan metode unfolding”, dijelaskan bahwa ada spektrum selain spektrum sinar x yang muncul dari hasil pengukuran menggunakan detektor CdTe, spektrum ini dikenal sebagai noise. Beliau kemudian mengoreksi spektrum noise tersebut dengan metode unfolding, model detektor dibentuk secara utuh seperti yang terlihat pada gambar 1.1. Hasil koreksi ternyata kurang baik karena menunjukkan adanya loncatan data dari hasil perhitungan, grafik spektrum pengukuran dengan perhitungan seharusnya berhimpit. Hal ini dapat terjadi karena adanya kontribusi hamburan interaksi radiasi antara sinar X dengan material selain CdTe.



Gambar 1.1 Pemodelan detektor

Oleh karena itu, Dalam penelitian kali ini penulis mencoba membentuk respon matriks respon dengan model detektor dalam kondisi ideal pada simulasi monte carlo. Penulis mensimulasikan detektor hanya pada bagian yang aktif, yaitu material CdTe. Sehingga spektrum noise yang muncul saat pengukuran diharapkan dapat lebih diminimalisir dan akhirnya diperoleh spektrum sinar-X yang sebenarnya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diamati adalah meningkatkan akurasi koreksi spektrum sinar X yang mengenai detektor CdTe. Untuk mengetahui efektivitas dari matriks respon detektor, penulis membandingkan hasil koreksinya dengan hasil koreksi skripsi Sahrulloh¹. Parameter yang menjadi acuan adalah seberapa besar noise yang dapat dihilangkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian kali ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari program Heprow sistem.
2. Meningkatkan akurasi koreksi spektrum sinar-x dengan respon matriks detektor yang ideal

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang akan diteliti dibatasi sesuai dengan judul yang diajukan yaitu “Peningkatan akurasi koreksi spektrum sinar X yang terukur detector CdTe dengan peningkatan resolusi matriks pada metode unfolding”. Penelitian ini difokuskan pada peningkatan resolusi matriks respon menggunakan program EGSnrc.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1.5.1 Studi Kepustakaan

Pada tahap ini, penulis mempelajari literatur tentang spektrum sinar X, detektor CdTe dan program HEPROW. Informasi ini diperoleh dari berbagai sumber baik itu berupa sumber tercetak (buku), internet (jurnal *online*), penjelasan dari dosen pembimbing dan juga diskusi dengan mahasiswa lain.

1.5.2 Simulasi

Radiasi sinar X yang mengenai detektor akan menghasilkan fluensi energi, fluensi energi setiap chanel detektor tersebut didapatkan dari simulasi program EGSnrc yang cara kerjanya berdasarkan metode monte carlo. Dari simulasi diperoleh spektrum kemudian dijadikan input respon matriks, matriks respon dengan resolusi 1 keV pada rentang 2 keV hingga 100 keV. Kemudian Respon matrik tersebut di-input-kan ke program HEPROW untuk menghilangkan noise sehingga didapatkan spektrum yang sebenarnya

1.5.3 Verifikasi

Data eksperimen yang digunakan untuk verifikasi adalah hasil pengukuran dari skripsi Sahrulloh¹, data tersebut disimulasikan untuk mendapatkan spektrum sebenarnya menggunakan program xcomp5. Setelah disimulasikan, akan didapatkan respon matriks yang kemudian menjadi input menggunakan program HEPROW. Setelah itu, kami membandingkan hasil koreksi spektrum dari skripsi sebelumnya dengan penelitian yang penulis lakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini terdiri dari 5 bab, yang masing-masing mengupas 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 monte carlo, penjelasan prinsip dasar metode unfolding program HEPROW dan analisa dalam skripsi ini.

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 DISKUSI

Hasil yang didapatkan dalam pelaksanaan penelitian dipaparkan dalam bab ini. Bab ini juga berisi analisa mengenai hasil yang didapatkan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

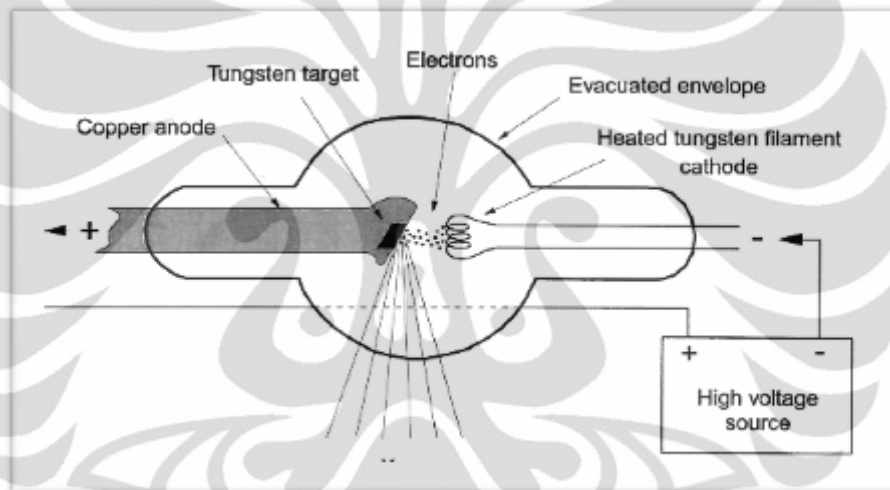
Setelah melakukan analisa terhadap data yang didapatkan, maka pada bab ini penulis menarik kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dibuat, ditambahkan saran-saran yang berguna untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sumber Radiasi Sinar-X

Sinar-X adalah sebuah bentuk berenergi dari radiasi elektromagnetik yang diproduksi oleh pesawat sinar-X. Timbulnya sinar-X dikarenakan oleh adanya perbedaan potensial arus searah yang besar di antara kedua elektroda (katoda dan anoda) dalam sebuah tabung hampa. Berkas elektron ini akan dipancarkan dari katoda menuju anoda, pancaran elektron-elektron ini disebut sinar katoda atau sinar X.



Gambar 2.1 Skema Tabung Sinar Katoda

Arus listrik yang dipakai itu untuk memanaskan filamen sehingga filamen dapat membebaskan elektron, elektron ini akan dipercepat dari katoda ke anoda. Perbedaan tegangan antara katoda dan anoda dalam orde 20 KeV sampai 100 KeV. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik bertegangan rendah menjadi sumber elektron. Makin besar arus filamen, akan makin tinggi suhu filamen dan berakibat makin banyak elektron dibebaskan persatuan waktu. Sinar X mempunyai sifat menghitamkan plat film, mengionisasi gas, menimbulkan fluoresensi dan menembus jaringan tubuh.

Proses pembentukan sinar X terjadi karena beberapa peristiwa, yaitu diantaranya :

2.1.1 Sinar X Karakteristik

Niels Bohr mengemukakan teori mengenai struktur dan sifat-sifat atom yang merupakan gabungan dari penemuan Ernest Rutherford mengenai struktur atom dan teori kuantum dari Max Planck. Apabila suatu unsur dipanasi, elektron bagian dalam orbit atom akan menyerap energi dari luar. Apabila suatu unsur didinginkan, elektron akan kehilangan energi dan kembali lagi ke orbit semula. Jika peristiwa ini terjadi, satu atau lebih kuantum energi akan dilepaskan dalam bentuk cahaya. Panjang gelombang maupun frekuensi cahaya yang dilepaskan bergantung pada kandungan energi dari kuantum yang dilepaskan.

Sebuah elektron di dalam atom dapat berpindah dari lintasan tertentu ke lintasan lainnya. Lintasan-lintasan yang dilalui elektron akan menentukan tingkat energi elektron dalam lintasan itu. Lintasan yang paling stabil adalah yang paling dekat dengan inti, yaitu lintasan dengan $n = 1$. Dalam lintasan ini, elektron mempunyai energi potensial yang paling rendah. Apabila elektron menyerap sejumlah energi tertentu dari luar, maka elektron itu dapat meloncat ke lintasan dengan energi potensial yang lebih tinggi, yaitu lintasan dengan $n = 2, 3, 4$, dan seterusnya. Dalam kondisi ini dikatakan bahwa elektron berada dalam keadaan tereksitasi sehingga tidak stabil. Pada saat elektron kembali ke keadaan dasarnya (kembali ke lintasan semula), elektron tersebut akan memancarkan kelebihan energinya dalam bentuk radiasi sinar X. Sinar X inilah yang dinamakan sinar X karakteristik.

2.1.2 Sinar-X Bremstrahlung

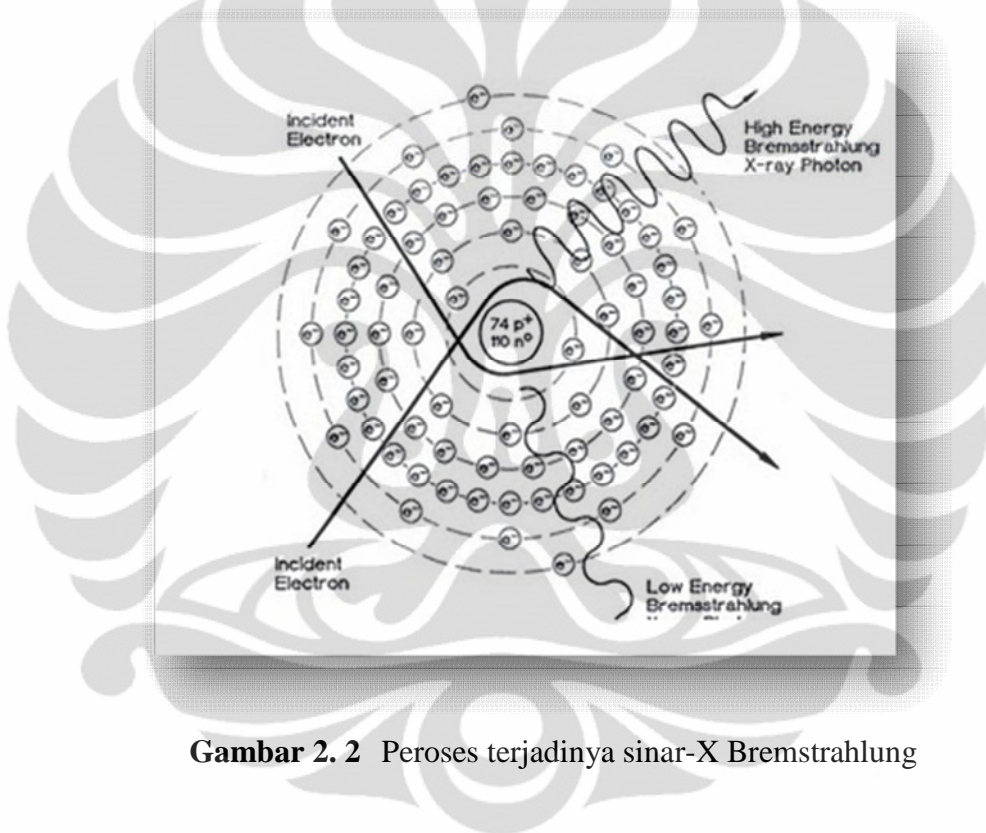
Elektron sebagai partikel bermuatan listrik yang bergerak dengan kecepatan tinggi, apabila melintas dekat ke inti suatu atom, maka gaya tarik elektrostatik inti atom yang kuat akan menyebabkan elektron membelok dan mengalami perlambatan. Peristiwa itu menyebabkan elektron kehilangan energinya dengan memancarkan radiasi elektromagnetik yang dikenal sebagai sinar-X bremsstrahlung. Besarnya energi radiasi yang dipancarkan tersebut berbanding

lurus dengan besar perlambatannya, karena dalam perhitungannya energi foton merupakan konservasi dari energi kinetik elektron akibat perubahan kecepatan

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \Delta v^2 \quad (2.1)$$

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m_e (v_t^2 - v_0^2) \quad (2.2)$$

Foton yang diemisikan dapat dijelaskan pada gambar berikut.



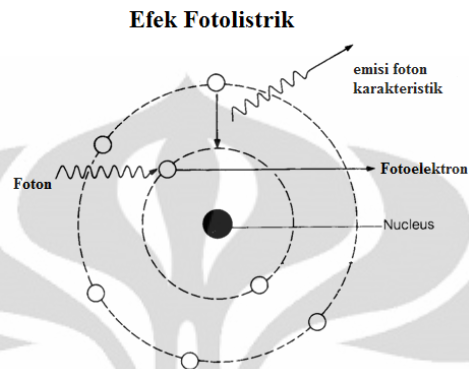
Gambar 2.2 Proses terjadinya sinar-X Bremsstrahlung

2.2 Interaksi Radiasi Terhadap Materi

2.2.1 Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron dari lintasannya yang diakibatkan oleh adanya tumbukan oleh radiasi cahaya (foton). Foton berinteraksi dengan elektron di sembarang kulit atom, kemungkinan besar pada elektron yang memiliki energi ikat terkuat. Elektron memiliki energi ikat yang membuatnya tetap berada pada lintasannya di kulit atom. Ketika sebuah radiasi foton mengenai elektron ini, maka seluruh energi radiasi ini akan diserap oleh elektron. Jika

energy radiasi foton lebih besar dari energy ikat electron ini, maka electron akan keluar dari lintasannya dan bergerak dengan kecepatan v dan energy kinetic E_k . Elektron yang keluar tersebut dinamakan elektron foto dan arus yang terjadi disebut arus foto. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.3 Peristiwa efek Fotolistrik

$$E_f = W_0 + E_k \quad (2.3)$$

$$hf = hf_0 + \frac{1}{2} m_e v^2 \quad (2.4)$$

Dimana E_f = Energy foton

W_0 = Energy ikat/Energi ambang electron

E_k = Energi kinetic electron

h = Konstanta Plank

f = Frekuensi foton

f_0 = Frekuensi ambang

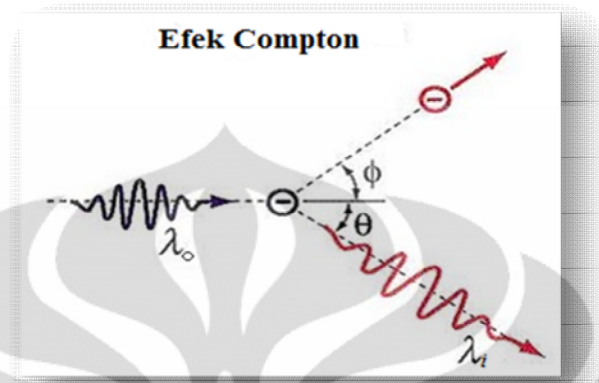
m_e = Massa electron

v = Kecepatan gerak electron

2.2.2 Efek Compton

Efek hamburan inelastik Compton merupakan interaksi antara foton dengan elektron bebas. Elektron bebas yang diam menyerap sebagian energi foton sehingga bergerak membentuk sudut terhadap arah foton mula-mula dan sebagian energi radiasi

ini akan dihamburkan dalam bentuk foton dengan panjang gelombang λ_i yang lebih besar dari panjang gelombang awalnya. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2. 4 Peristiwa efek Compton

Dalam teori tumbukan berlaku hukum kekekalan energi dan momentum seperti berikut ini:

$$E_{awal} = E_{akhir} \quad (2.5)$$

$$P_{awal} = P_{akhir} \quad (2.6)$$

Foton yang menumbuk elektron pun terhambur dengan sudut θ terhadap arah semula dan panjang gelombangnya menjadi lebih besar. Perubahan panjang gelombang foton setelah terhambur dinyatakan sebagai berikut

$$\lambda_i - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (2.7)$$

Dimana λ_i = Panjang gelombang hamburan

λ_0 = Panjang gelombang radiasi awal

h = Konstanta Plank


m_e = Massa elektron

c = Kecepatan cahaya

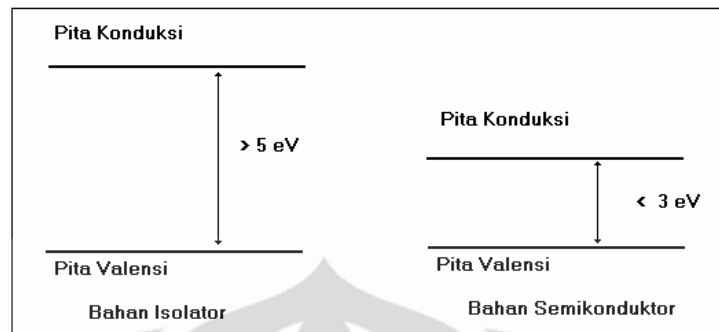
θ = Sudut hambur

2.3 Detektor CdTe

Detektor berfungsi untuk mendeteksi berkas sinar X dan kemudian mengkonversinya menjadi sinyal-sinyal elektrik. Detektor dilengkapi dengan rangkaian amplifier agar dapat meningkatkan sinyal yang lemah, dan photo dioda yang memiliki kualitas resolusi dan efisiensi lebih tinggi dari detektor yang lain dan sensitivitasnya meningkat ketika dikenai foton berenergi lebih dari 20 keV. Spesifikasi detektor dapat dilihat pada tabel 2.1.

General	
Detector type	Cadmium Telluride (CdTe) Diode
Detector areas	3 x 3 mm (9 mm ²), 5 x 5 mm (25 mm ²)
Detector thickness	1 mm, click here for efficiency curves
Energy resolution @ 122 keV, ⁵⁷ Co	9 mm ² : <1.2 keV FWHM, typical 25 mm ² : <1.5 keV FWHM, typical
Dark counts	<5 x 10 ⁻³ counts/sec @ 10 keV < E < 1 MeV
Detector window	Be, 4 mil thick (100 μm), click here for transmission curves
Preamplifier	Charge Sensitive, with Current Divider Feedback
Case Size	3.00 x 1.75 x 1.13 in (7.6 x 4.4 x 2.9 cm)
Case weight	4.4 ounces (125 g)
Total power	Less than 1 watt
Operation conditions	0°C to +40°C
Storage and Shipping	Long term storage: 10+ years in dry environment Typical Storage and Shipping: -20°C to +50°C, 10 to 90% humidity non condensing
	TUV Certification Certificate #: CU 72072412 01 Tested to: UL 61010-1: 2004 R7 .05 CAN/CSA-C22.2 61010-1: 2004
Inputs	
Preamp power	±8 volts @ 25 mA
Detector power	+500 volts @ 1 μA
Cooler power	Current = 350 mA maximum Voltage = 4 V maximum

Tabel 2.1 Spesifikasi detektor

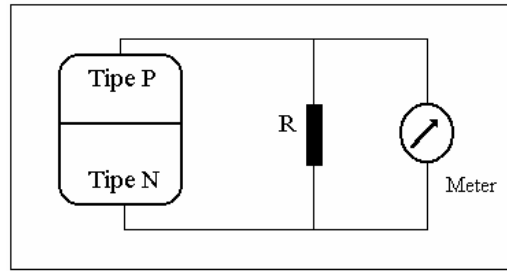


Gambar 2.5 struktur pita energi elektron

Detektor CdTe merupakan detektor dari jenis semikonduktor yang mempunyai beberapa keunggulan yaitu lebih efisien dibandingkan dengan detektor isian gas, karena terbuat dari zat padat, serta mempunyai resolusi yang lebih baik daripada detektor sintilasi.

Pada dasarnya, bahan isolator dan bahan semikonduktor tidak dapat meneruskan arus listrik. Hal ini disebabkan semua elektronnya berada di pita valensi sedangkan di pita konduksi kosong. Perbedaan tingkat energi antara pita valensi dan pita konduksi di bahan isolator sangat besar sehingga tidak memungkinkan elektron untuk berpindah ke pita konduksi ($> 5 \text{ eV}$) seperti terlihat pada Gambar 6. Sebaliknya, perbedaan tersebut relatif kecil pada bahan semikonduktor ($< 3 \text{ eV}$) sehingga memungkinkan elektron untuk meloncat ke pita konduksi bila mendapat tambahan energi. Energi radiasi yang memasuki bahan semikonduktor akan diserap oleh bahan sehingga beberapa elektronnya dapat berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Bila di antara kedua ujung bahan semikonduktor tersebut terdapat beda potensial maka akan terjadi aliran arus listrik. Jadi pada detektor ini, energi radiasi diubah menjadi energi listrik.

Sambungan semikonduktor dibuat dengan menyambungkan semikonduktor tipe N dengan tipe P (PN junction). Kutub positif dari tegangan listrik eksternal dihubungkan ke tipe N sedangkan kutub negatifnya ke tipe P seperti terlihat pada Gambar 2.6. Hal ini menyebabkan pembawa muatan positif akan tertarik ke atas (kutub negatif) sedangkan pembawa muatan negatif akan tertarik ke bawah (kutub positif), sehingga terbentuk (depletion layer) lapisan kosong muatan pada sambungan PN.



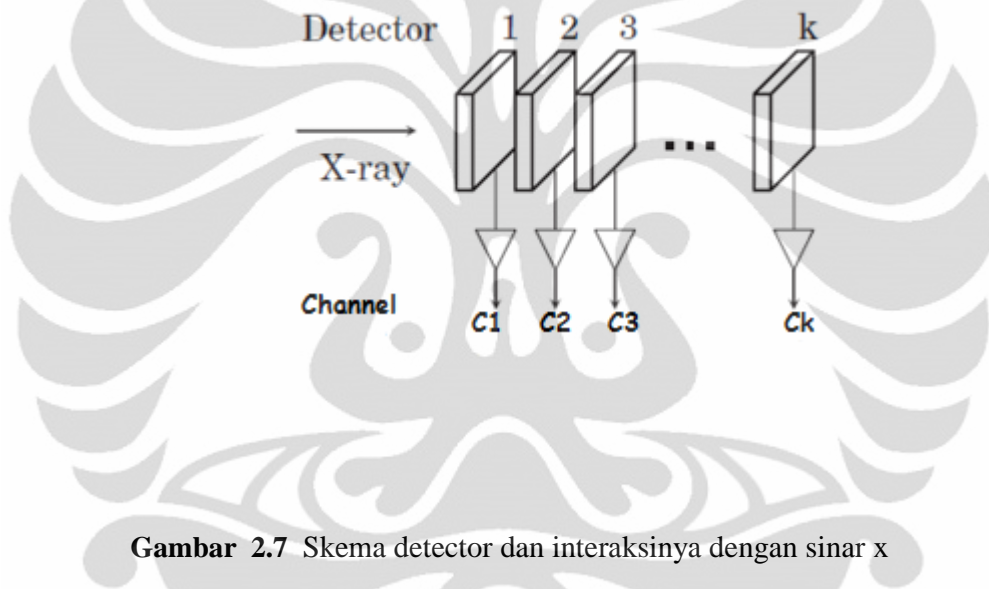
Gambar 2.6 konstruksi Detektor Semikonduktor

Dengan adanya lapisan kosong muatan ini maka tidak akan terjadi arus listrik. Bila ada radiasi pengion yang memasuki lapisan kosong muatan ini maka akan terbentuk ion-ion baru, elektron dan hole, yang akan bergerak ke kutub-kutub positif dan negatif. Tambahan elektron dan hole inilah yang akan menyebabkan terbentuknya pulsa atau arus listrik.

Oleh karena daya atau energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan ion. Ion ini lebih rendah dibandingkan dengan proses ionisasi di gas, maka jumlah ion yang dihasilkan oleh energi yang sama akan lebih banyak. Hal inilah yang menyebabkan detektor semikonduktor sangat teliti dalam membedakan energi radiasi yang mengenainya atau disebut mempunyai resolusi tinggi. Sebagai gambaran, detektor sintilasi untuk radiasi sinar X biasanya mempunyai resolusi sebesar 50 keV, artinya, detektor ini dapat membedakan energi dari dua buah radiasi yang memasukinya bila kedua radiasi tersebut mempunyai perbedaan energi lebih besar daripada 50 keV. Sedang detektor semikonduktor untuk radiasi sinar X biasanya mempunyai resolusi 2 keV. Jadi terlihat bahwa detektor semikonduktor jauh lebih teliti untuk membedakan energi radiasi. Kelemahan dari detektor semikonduktor adalah harganya lebih mahal, pemakaiannya harus sangat hati-hati karena mudah rusak dan beberapa jenis detektor semikonduktor harus didinginkan pada temperatur Nitrogen cair sehingga memerlukan dewar yang berukuran cukup besar.

2.4 Unfolding

Unfolding merupakan metode evaluasi spektrum fluence partikel, dimana fluktuasi noise-noise yang muncul saat pengukuran dikoreksi menggunakan algoritma matematik menggunakan program komputer. Detektor terdiri dari segmen-segmen yang disebut dengan chanel, ketika radiasi sinar X datang mengenai detektor maka akan terjadi interaksi membentuk respon matriks. Radiasi sinar X berenergi lebih rendah cenderung diserap oleh segmen detektor yang lebih depan, sedangkan yang memiliki energi lebih tinggi akan diserap oleh segmen detektor yang lebih belakang.



Gambar 2.7 Skema detector dan interaksinya dengan sinar x

Gambar di atas menunjukkan proses terbentuknya matriks respon, interaksi antara radiasi sinar X dengan detektor akan membentuk pulsa-pulsa listrik.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \cdots & R_{1,n} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ R_{k,1} & \cdots & & R_{k,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix}$$

P_i adalah pulsa listrik yang terjadi pada channel ke- i dari detektor, $F_{k,n}$ adalah fungsi respon detektor untuk radiasi sinar gamma dengan energy E_n . Z_n adalah kejadian sinar X yang menumbuk detektor dengan energy E_n . Setiap fungsi respon tersebut akan diproses lebih lanjut dengan algoritma komputer yang telah tersedia pada paket program heprow.

2.5 Program EGSnrc

EGSnrc adalah software yang digunakan untuk mengetahui respon detektor terhadap berkas elektron atau foton dengan simulasi Monte Carlo. Terdiri dari dua paket program, yakni EGS gui dan Egs inprz. Keduanya memiliki fungsi masing-masing, EGS gui untuk menentukan material detektor, sedangkan EGS inprz untuk mensetting jenis radiasi, besarnya energi radiasi dan jumlah paparan.

Fluence spektrum partikel yang diperoleh dari simulasi berdasarkan interaksi yang terjadi antara radiasi sinar X dengan detektor berbahan Cadmium Telluride.

2.6 Program HEPROW

HEPROW merupakan sebuah sistem yang dapat digunakan untuk mengoreksi spektrum dari hasil pengukuran agar diperoleh spektrum yang sebenarnya. Noise yang muncul selama pengukuran akan dihilangkan dengan beberapa tahapan berbasis komputer.

2.6.1 Program UMSPHW

Fungsi program ini adalah mentransformasi spektrum ketinggian pulsa hasil pengukuran menjadi file yang memiliki format yang sesuai dengan struktur sistem HEPROW.

Jumlah cacahan radiasi yang mengenai setiap channel detektor akan menghasilkan fluense energi, diikuti dengan terbentuknya spektrum ketinggian pulsa dalam format bebas. Penerapan statistik poisson saat pembacaan digunakan untuk membedakan fluense energi dari setiap channel. Sehingga tidak ada korelasi antara channel yang berbeda, satu channel didefinisikan sebagai akar kuadrat jumlah cacahan.

Ada keterkaitan antara file output energi dengan batas sisi kiri channel, yaitu dinyatakan oleh persamaan

$$EL(I) = (I-1-XI0) * EKA-Q \quad (2.8)$$

di mana :

EL (I) adalah batas energi sebelah kiri channel No I.

I adalah jumlah channel

EKA adalah lebar channel, misal channel no. I, berkisar dari $EL(I)$ sampai

$$EL(I+1) = EL(I) + EKA.$$

XI0 adalah saluran "angka" (nilai riil) yang berhubungan dengan energi dari 0.0

Contoh File Input UMSPHW

ums40.log	file protokol
pengukuran 40kev	judul data hasil transformasi
40.txt	file data hasil pengukuran
ums40.phs	file data hasil transformasi
0	XI0, channel energi sama dengan 0
17E-5	gap energi tiap channel dalam Mev
0.0	nilai Q dari Heprow
0.0	waktu koreksi (death time correction)
1.0	perhitungan waktu fluence
1.0	pembagi hasil pembacaan
0	penambahan fluence dari background
0	tidak ada baris yang di skip selama perhitungan
1024	jumlah channel hasil pembacaan pengukuran

Nampak pada file input Q=0.0, nilai ini untuk jenis radiasi foton. Sedangkan perbandingan yang lebih baik antara skala neutron dan proton digunakan nilai Q = 0,764 pada file PTB untuk 3-He.

Sebagai contoh (dengan Q = 0.0)

1. Jika nilai nol energi pada channel pertama di 0,66, $X_{10} = 0,66$ harus digunakan, dan channel pertama dicapai dari

$$EL(1) = -0.66 * EKA \text{ to } EL(1) + EKA = -0.66 * EKA + EKA = 0.34 * EKA \quad (2.9)$$

2. Jika nilai nol energi pada channel ke-3 di 2,44, $X_{10} = 2,44$ harus digunakan, dan channel ke-3 dicapai dari

$$(2 - 2.44) * EKA = -0.44 * EKA \text{ to } -0.44 * EKA + EKA = 0.56 * EKA$$

2.6.2 Program RSPGW

Program RSPGW digunakan untuk mengubah file spektrum ketinggian matriks respon dari hasil simulasi ke dalam format HEPROW. Proses konversi file berkaitan dengan tujuan aplikasi program RSPGW, yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menjalankan rebinning dari matriks respon ke struktur energy yang baru untuk "photon-photon" atau "neutron", dimana tumbukan partikel ini disebut "neutron-neutron", dan diasumsikan bahwa partikel sekunder yang disebut "proton-proton" sesuai dengan ketinggian pulsa spectrum yang diukur.
2. Membuat respon matriks monoenergy, terkadang dibutuhkan pemeriksaan hasil, matriks respon dibentuk dari persamaan

$$R_{iv} = \delta_{iv} \quad (2.11)$$

3. Membentuk respon matriks Gaussian

$$R_{iv} = G_{iv} = \frac{\Delta E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma(E_p)} \exp\left(-\frac{(E_p - E_i)^2}{2\sigma(E_p)^2}\right) \quad (2.12)$$

4. Membuat perluasan respon matriks Gaussian

$$R_{iv} = G_{iv} = \frac{\Delta E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma(E_p)} \exp\left(-\frac{(E_p - E_i)^2}{2\sigma(E_p)^2}\right) \cdot R_{ideal, kv} \quad (2.13)$$

Lebar Gaussian σ adalah polynomial pangkat dua. Struktur dari file input yang berbeda untuk tugas yang berbeda. Lebih jelas lihat refrensi. Pengguna dapat membangun sebuah file input interaktif dengan menjalankan program pertama tanpa menggunakan file input, misalnya tanpa nama file sebagai argument perintah baris (command-line argumen).

Contoh File Input RSPGW

```

rsg_1.log          protokol file      1
0.0               nilai q
rsg_1.rsp         nama output fungsi respon
1                gauss-folding yang dicari
original.rsp     input (fungsi respon ideal )
1               energi neutron dari file respon
1               energi proton dari file respon
0.1,10.0        range energi neutron yang dicari(Mev)
-1.0,4.0e-2     parameter a (lihat ketentuan HEPRO)
1.2e-1          parameter b (lihat ketentuan HEPRO)
5.0e-3          parameter c (lihat ketentuan HEPRO)
0               koreksi asimmetri
norm_1           nama file untuk output norm
0               Multiplikasi faktor respon

```

2.6.3 Program GRAVELW

Prinsip kerja iterasi pada program GRAVELW mengaplikasikan algoritma matematik yang persis dengan yang digunakan di SAND-II. Program ini dapat diterapkan dalam proses unfolding pada kondisi “few chanel” maupun “multichanel”.

Program GRAVELW membutuhkan dua file input,yaitu file pengukuran dan file perhitungan . Keduanya melalui posedur iterasikode GRAVEL, output spektrumnya adalah hasil koreksi data pengukuran oleh data pehitungan yng diperoleh dari simulasi EGSnrc

Contoh file input

```

grv_1.log        file protokol
0.0,0           nilai q (lihat ketentuan HEPRO )
opr_1.phs       file input multichannel (HEPRO format)
3.50,7.0        range energi file input opr_1.phs
1.0            koreksi energi untuk multi-ch.
-0.05,7.8,0    range energi neutron.
..\resp\rsg_1.rsp matriks respons file input
0              no fluence file available,use const
0.5,10000,200,1 eps,msand,idr,modpl
grv_1.flu       output file fluence
grv_1.phs       output perhitungan multi-ich. file
grv_1.pds       output perhitungan difference file
n              no scaling of stand. deviation wanted
j              output file UNFANA.asc yang diinginkan

```


2.6.4 Program UNFANAW

Program UNFANAW menyertakan faktor ketidakpastian atau lebih dikenal ambiguitas yang terdistribusi pada spektrum ketinggian dari spektrum hasil koreksi, sehingga bentuk grafiknya lebih halus dibandingkan dengan spektrum output GRAVELW. Metode iterasi program UNFANAW berdasarkan teori maksimum entropi.

2.6.5 Program MIEKIEW

Program MIEKIEW berbasis algoritma yang memiliki kesamaan dengan UNFANAW dan juga membutuhkan file input berekstensi *.ASC. Perbedaannya terdapat pada pola penyebaran ketidakpastian, sehingga spektrum outputnya lebih akurat dibandingkan UNFANAW.

2.6.6 Program PLOFW dan PLOTAW

Program PLOFW dan PLOTAW merupakan bagian dari paket HEPROW sistem yang berfungsi untuk plotting file berekstensi *.PLO menjadi bentuk grafik. Semua file output dari hasil running program UMSPHW, RSPGW, GRAVELW, MIEKIEW dan UNFANAW akan menghasilkan file spektrum yang mengandung grafik.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

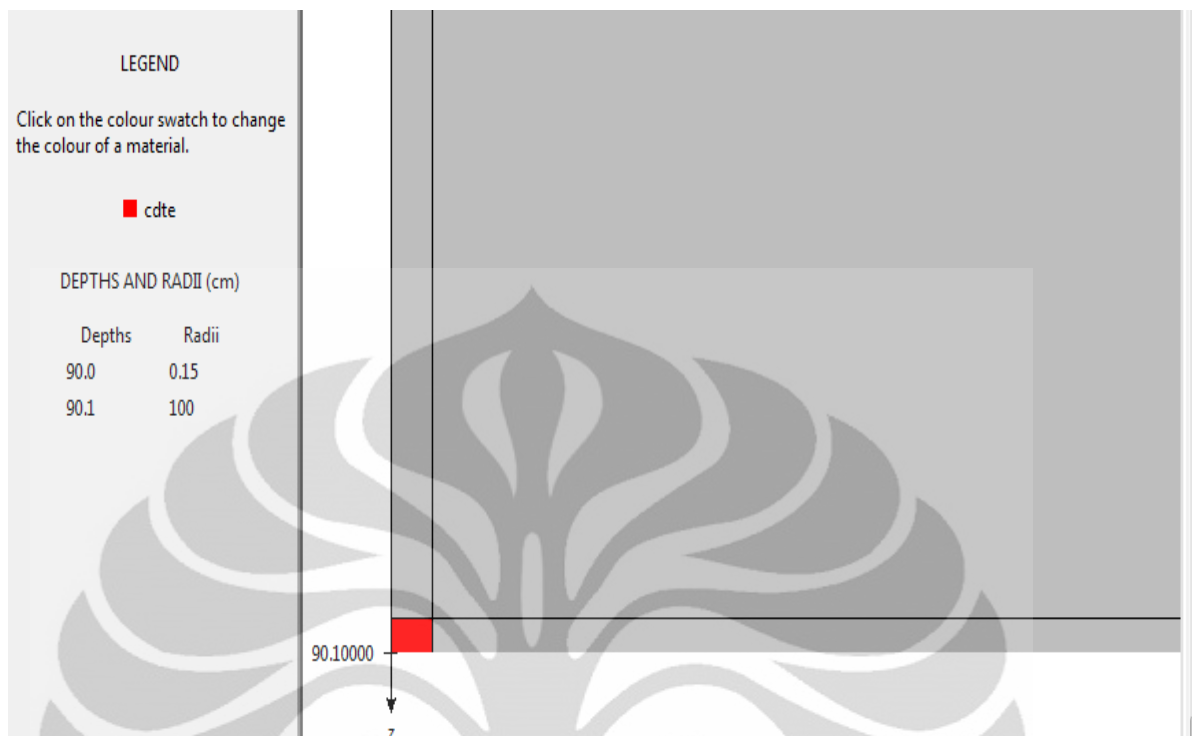
3.1 File Input

Data pengukuran secara langsung yang dilakukan oleh Sahrulloh¹ merupakan file input yang dibutuhkan sebelum melakukan proses Unfolding. Data pengukurannya adalah spektrum sinar X pada energi 40 KeV, 50 KeV, 70 KeV, dan 80 KeV. File input ini dikonversi dalam format HEPROW menggunakan program UMSPHW, proses konversi data pengukuran akan menghasilkan 3 jenis output file, yaitu file berekstensi *LOG, * PLO, dan *PHS. File *LOG berisi penjelasan mengenai input data yang ditulis pada kotak DOS, file *PLO untuk melihat spektrum dalam bentuk grafik. Sedangkan file *PHS adalah data pengukuran yang sudah dalam format HEPROW.

3.2 Fungsi Respon

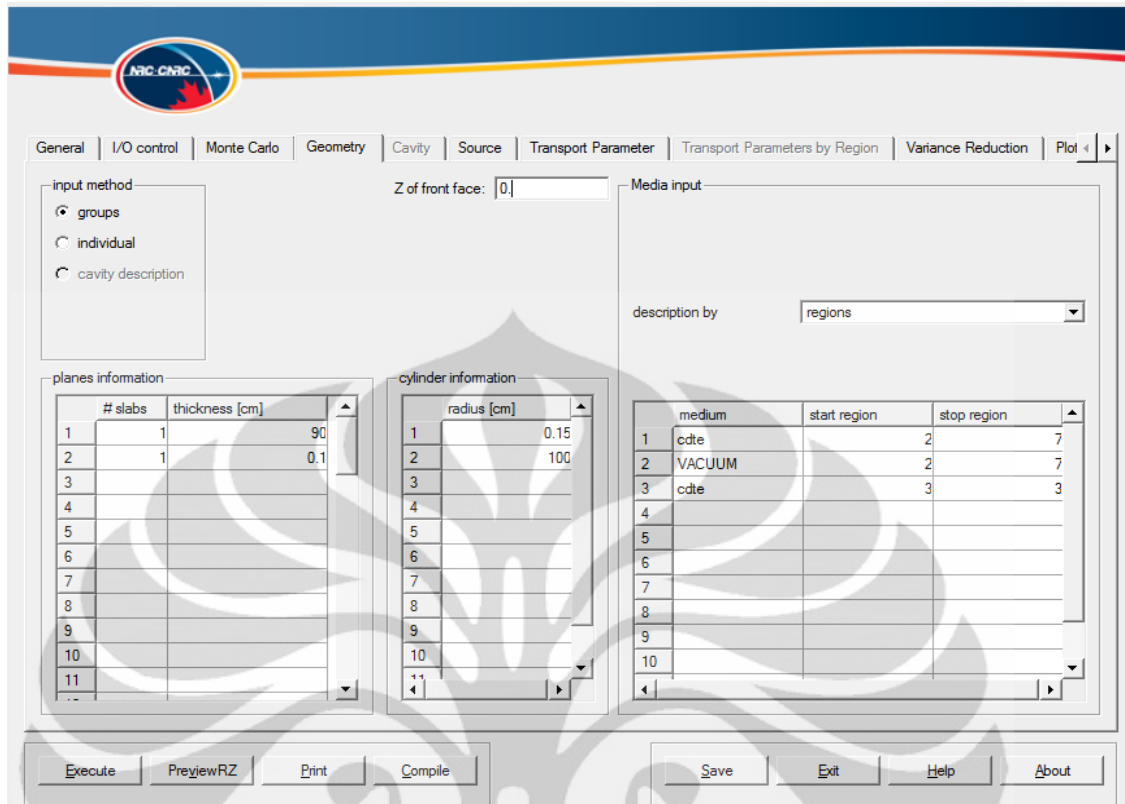
Setiap radiasi sinar X yang mengenai detektor akan diubah menjadi sebuah sinyal (pulsa) listrik sehingga jumlah radiasi dapat ditentukan dengan mengukur jumlah pulsa listrik yang dihasilkan detektor. Radiasi sinar X yang mengenai setiap segmen detektor akan diserap membentuk respon matriks, fungsi respon detektor disimulasikan dengan paket program EGSnrc yang terdiri dari EGS_gui dan EGS_inprz untuk mengetahui seberapa besar kemampuan detektor untuk merespon radiasi yang datang pada setiap segmen-segmennya.

Langkah pertama adalah menentukan jenis bahan detektor menggunakan program EGS_gui. Di dalam program ini, diperoleh data tentang kandungan detektor, penulis hanya mencantumkan material CdTe. Selanjutnya membangun struktur geometrinya yang disusun di program EGS_inprz. Hasil proyeksinya tampak pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Pemodelan Simulasi

Proyeksi tersebut disusun dengan mengisi kolom geometri pada program EGS_inprz. Struktur geometrinya terdiri dari 6 region, dimana region 2,4,5,6 dan 7 adalah vakum sebagai medium simulasi, sedangkan region 3 adalah detektor CdTe. Detektor CdTe dibentuk pada kedalaman antara 90cm – 90,1cm dan radius 0,15cm. Model ini lebih sederhana dari skripsi sebelumnya karena hanya mencantumkan bahan Cadmium Telluride sebagai detektor, dan berada dalam keadaan vakum, sehingga diasumsikan seluruh pancaran radiasi sinar X akan diserap seluruhnya oleh material detektor. Pemodelan simulasi yang melingkupi struktur geometri dan densitas bahan akan mempengaruhi efisiensi suatu detektor dalam menangkap setiap radiasi yang datang. Selanjutnya adalah menjalankan program simulasi untuk menentukan data respon detektor tiap monoenergi yang diberikan. Tampilan kolom geometri pada program EGS_inprz terlihat pada gambar 3.2



Gambar 3. 2 Tampilan Model simulasi program EGSnrc

Pada kolom monte carlo, penulis mengisi history sebesar 15.000.000. Hal tersebut menunjukkan jumlah cacahan radiasi yang akan mengenai detektor, semakin banyak history-nya maka fluense energi yang dihasilkan akan semakin akurat, namun semakin lama pula proses running-nya. Penulis membangun file respon dengan mensimulasikan radiasi sinar X monoenergi yang mengenai detector CdTe dengan variasi energy sebesar 1 KeV pada range 2 – 100 KeV. Berbeda dengan skripsi Sahrulloh¹, semua respon matriks dari simulasi ini akan disusun matriks respon sehingga diperoleh peningkatan resolusi matriks.

3.3 Struktur Matriks Respon

Data simulasi respon detektor terhadap sinar X disusun dalam file notepad. Matriks respon dibentuk dengan struktur berdasarkan ASCII. Format penulisannya sebagai berikut :

Baris Pertama : EKA

Dimana EKA adalah lebar energi radiasi

Baris kedua : $E_n, IH, E(1), E(IH+1)$

E_n adalah parameter energi partikel yang mengenai detektor. IH adalah jumlah channel fungsi respon detektor pada energi E_n , $E(1)$ dan $E(IH+1)$ adalah batasan awal sebelah kiri dan batasan sebelah kanan, dimana $E(1)=0$ (dalam semua kasus) dan $E(IH+1) = EKA * IH$.

Baris ketiga :

Fungsi respon untuk E_n , i.e nilai IH dari R_{kv} untuk $k=1 \dots IH$ (format bebas) R_{kv} adalah nilai rata-rata fungsi respon antara E_v sampai E_{v+1} , atau satu nilai fungsi respon monoenergi yang ditempatkan dalam interval antara E_v sampai E_{v+1} .

Catatan selanjutnya : nilai baru untuk energy photon selanjutnya E_{n+1} , i.e nilai baru untuk $E_n, IH, E(1), E(IH+1)$.

Catatan selanjutnya: $R_{kv+1}, (K=1 \dots IH)$

Penulisan baris pertama dan kedua ditulis berulang untuk energy-energi foton. Energi foton ditulis berurut dari yang paling kecil hingga yang paling besar.

Setelah data simulasi ini dibentuk menjadi satu file respon matriks (fungsi respon) berdasarkan aturan diatas, maka selanjutnya adalah mentransformasi respon matriks ini menjadi respon matriks dengan format Heprow dengan bantuan program dari paket program Heprow.

Contoh penulisannya sebagai berikut.

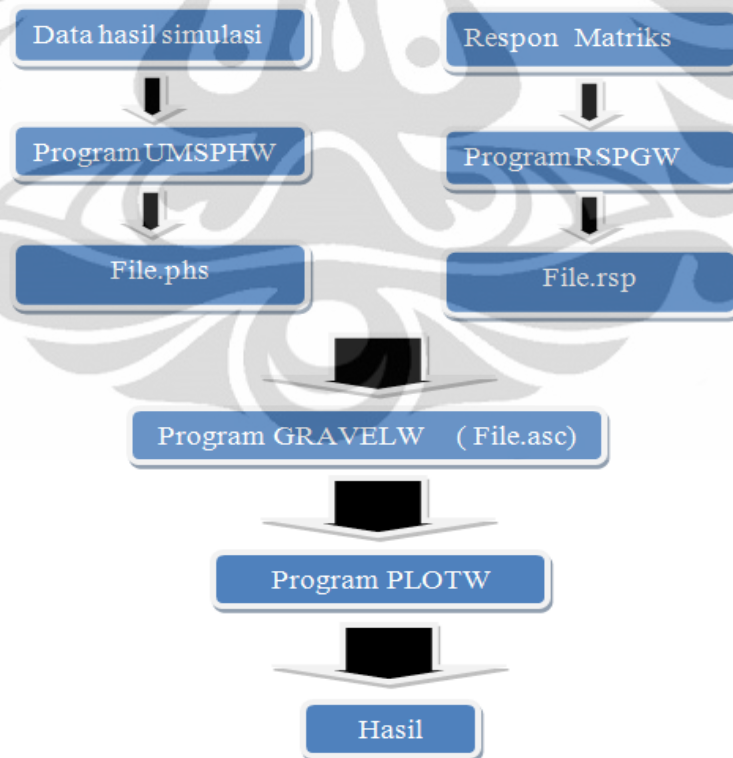
```
0.001
0.002  2  0.0000  0.002
0.00E+00 9.72E+00
0.003  3  0.0000  0.003
0.00E+00 7.95E-04 2.66E+01
0.004  4  0.0000  0.004
0.00E+00 1.25E-03 5.12E-01 2.24E+01
0.005  5  0.0000  0.005
3.03E-18 1.40E-03 3.18E-01 9.09E-01 1.95E+01
0.006  6  0.0000  0.006
0.00E+00 3.07E-03 3.32E-01 9.67E-01 1.17E-01 3.06E+01
```

3.4 Konversi Format Data Simulasi

File matriks respon digunakan sebagai parameter koreksi data hasil pengukuran, kedua file tersebut harus dikonversi sehingga diperoleh file dengan format yang dapat diproses oleh program HEPROW . Data pengukuran diubah ke dalam format HEPROW menggunakan program UMSPHW, sedangkan data simulasi dengan program RSPGW.

3.5 Proses Unfolding

Output File dari program UMSPHW dan program RSPGW kemudian diproses lebih lanjut oleh program GRAVELW yang juga merupakan paket HEPROW sistem. Tahapan ini dilakukan agar menghasilkan format file dengan ekstension *.PLO, sehingga dapat diplot menjadi sebuah grafik menggunakan program PLOFW dari paket HEProw sistem. Secara garis besar metode unfolding dalam skripsi ini dapat dilihat dalam bagan dibawah ini.



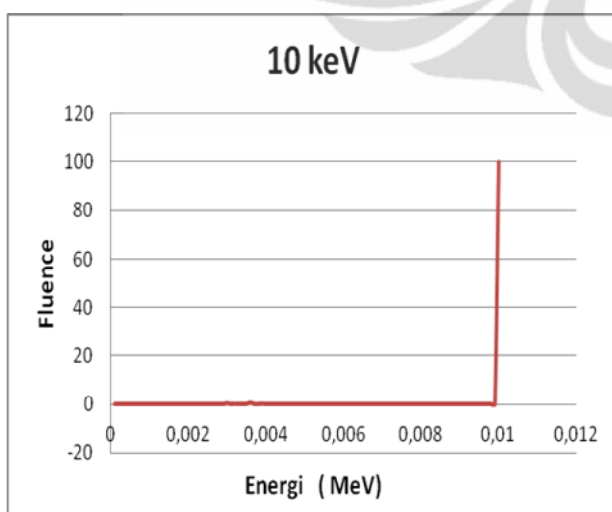
Gambar 3.3 Bagan Proses Unfolding

BAB 4

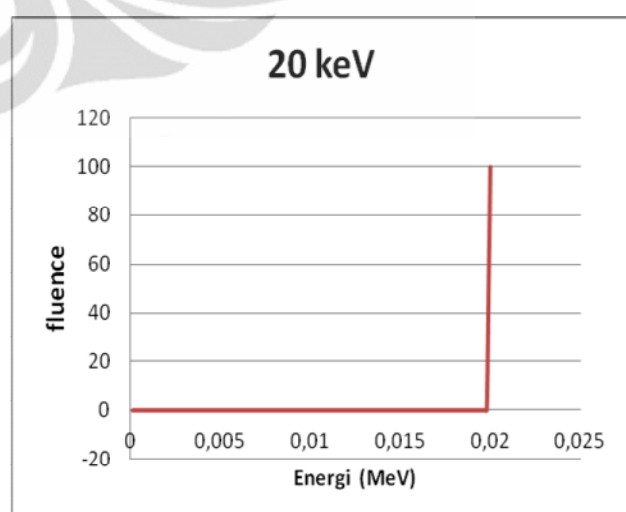
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Respon detektor

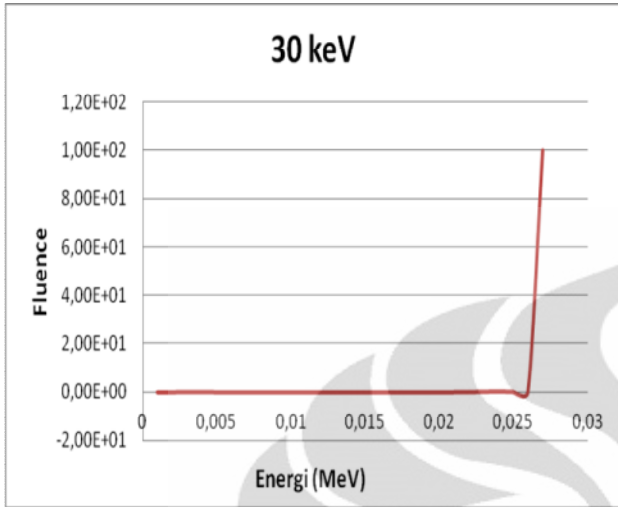
Untuk mengetahui respon detektor, penulis membuat simulasi menggunakan program EGSnrc. Model yang dibentuk adalah detektor dengan medium udara, penulis tidak mencantumkan material lain seperti Be, Pt dan In. Hal ini dimaksudkan agar mendapatkan nilai fluense ideal, karena pada pembahasan skripsi Sahrulloh¹ adanya material-material tersebut menyebabkan adanya noise. Model detektor yang dibentuk pada simulasi akan mempengaruhi efisiensinya, nilai efisiensi detektor tergantung oleh bentuk geometri dan densitas bahan detektor. Bentuk geometri sangat menentukan jumlah radiasi yang dapat 'ditangkap' sehingga semakin luas permukaan detektor, efisiensinya semakin tinggi. Sedangkan densitas bahan detektor mempengaruhi jumlah radiasi yang dapat berinteraksi sehingga menghasilkan sinyal listrik. Bahan detektor yang mempunyai densitas lebih rapat akan mempunyai efisiensi yang lebih tinggi karena semakin banyak radiasi yang berinteraksi dengan bahan.



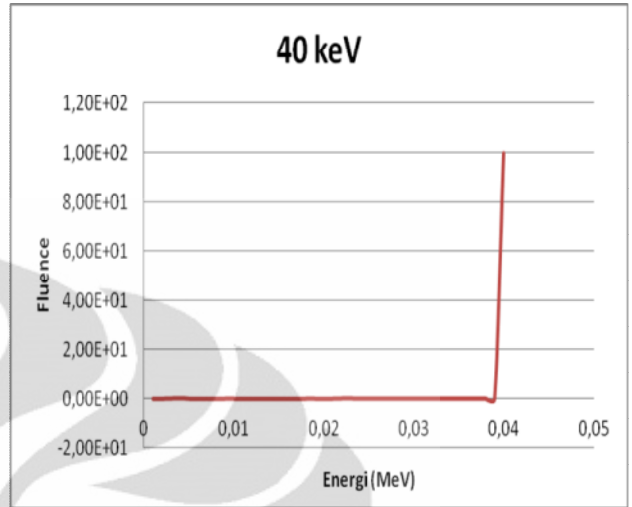
(a)



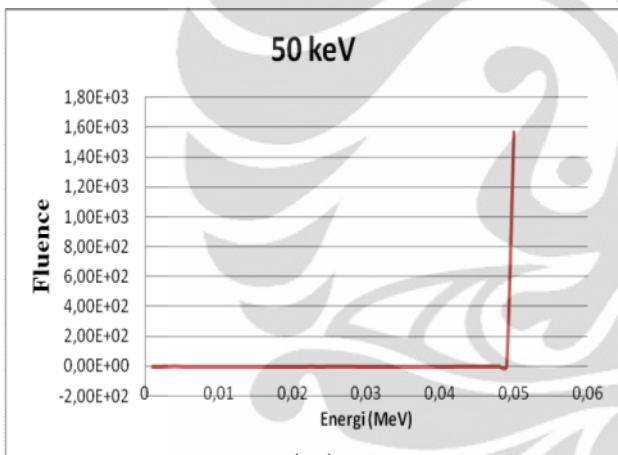
(b)



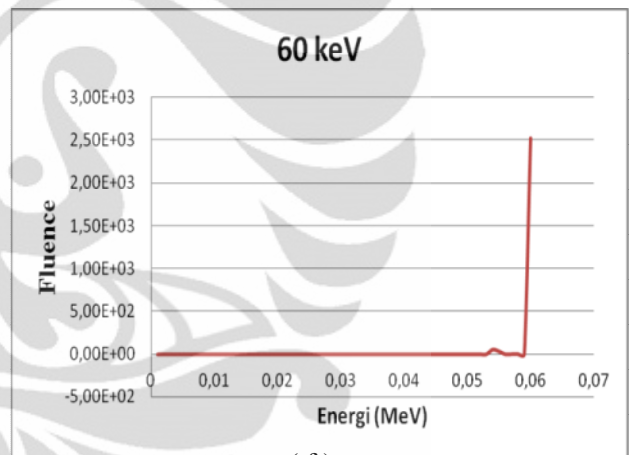
(c)



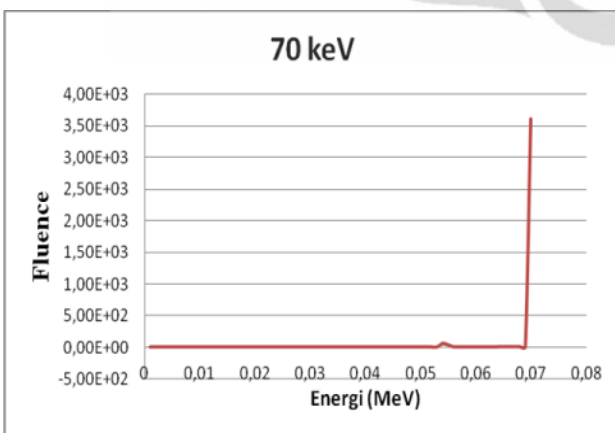
(d)



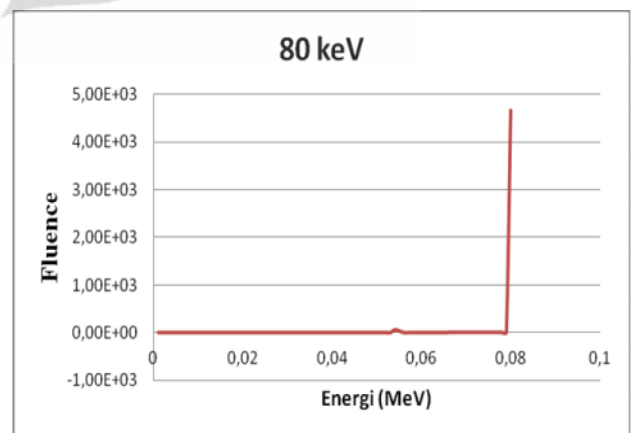
(e)



(f)



(g)



(h)

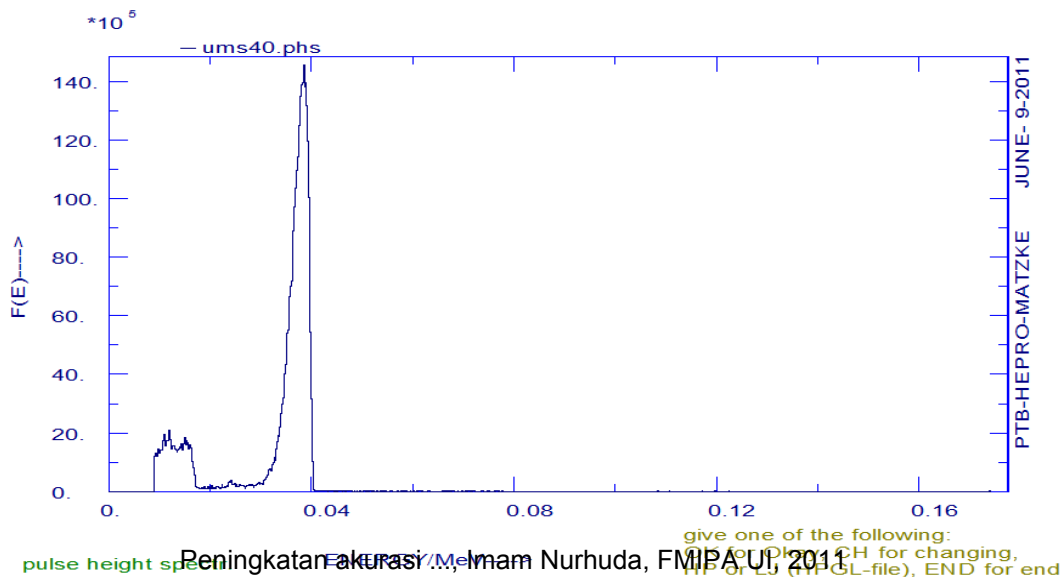
Gambar 4. 1 Grafik respon Detektor CdTe terhadap sinar X monoenergi

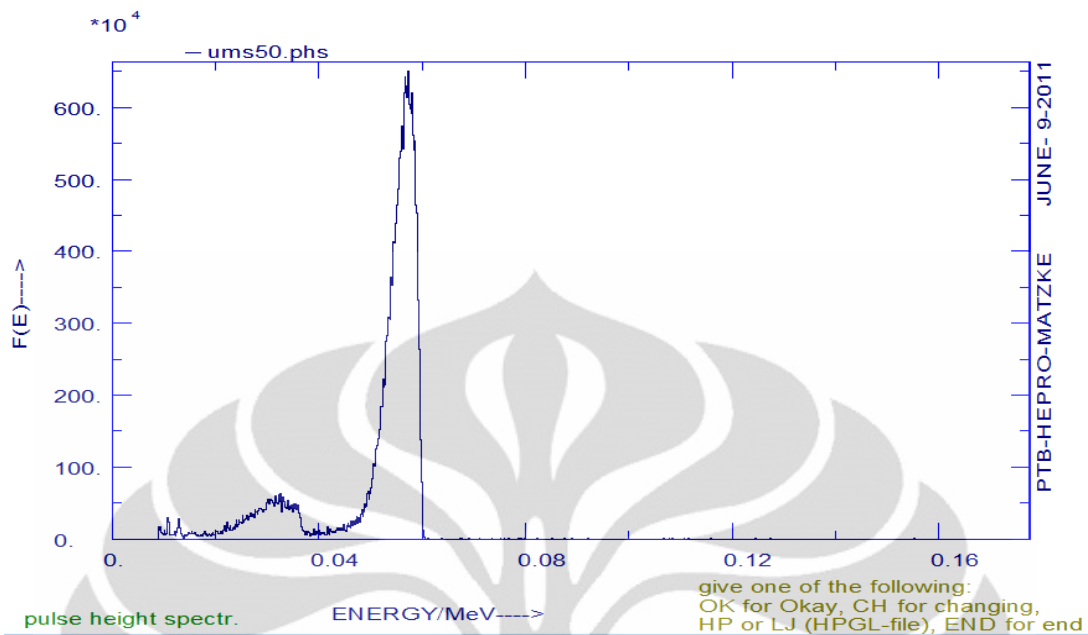
Pada gambar 4.1, nampak respon detektor CdTe terhadap foton sinar X. Idealnya diskrit energi tertentu akan menghasilkan satu peak fluence, namun ternyata pada energi 60 keV muncul peak fluensi yang nilainya lebih kecil daripada peak yang sebenarnya, peak inilah yang kemudian dikatakan sebagai noise. Pada skripsi Sahrulloh¹ menyebutkan bahwa noise disebabkan spektrum sinar-x karakteristik unsur-unsur material lain, sehingga penulis hanya membuat model detektor CdTe pada simulasi dengan keadaan vakum atau tanpa medium untuk meningkatkan efisiensi, hasilnya menunjukkan adanya peningkatan efisiensi akan tetapi masih saja ditemukan noise.

Respon detektor dibangun dengan gap energi sebesar 0,001 MeV, semakin kecil gap energi maka jumlah chanel detektor akan semakin bertambah. Sehingga akan meningkatkan resolusi matriks respon dari detektor CdTe, parameter ini kemudian menjadi faktor koreksi pengukuran sinar-x secara langsung.

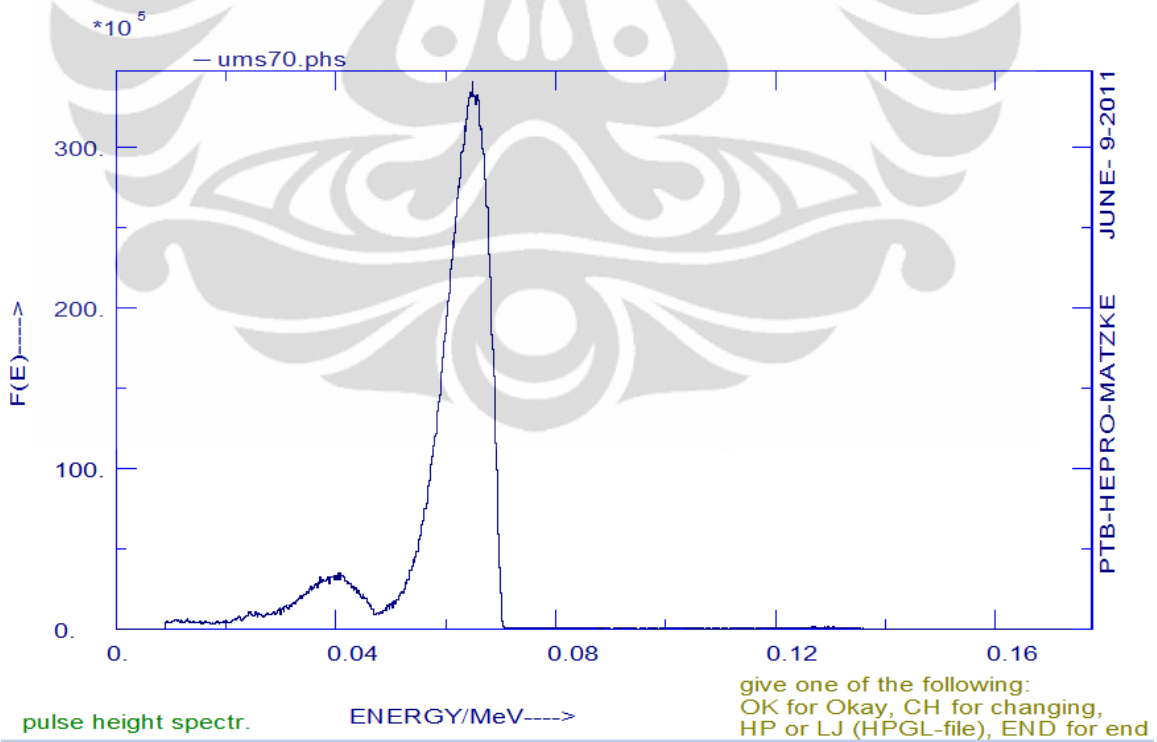
4.2 Data Pengukuran

Penulis menggunakan data pengukuran dari skripsi Sahrulloh¹, hal ini dilakukan untuk membandingkan hasil akhir koreksi. spektrum sinar X diperoleh dengan pengukuran secara langsung pada jarak 100 cm dan variasi pengukuran 10 KeV dari 40 – 80 KeV. Data pengukuran yang masih dalam format notepad kemudian dikonversi ke format HEPROW menggunakan program UMSPHW, hasil konversinya di plot dalam bentuk grafik. Spektrum pengukuran sinar-X dapat dilihat pada gambar 4.2.

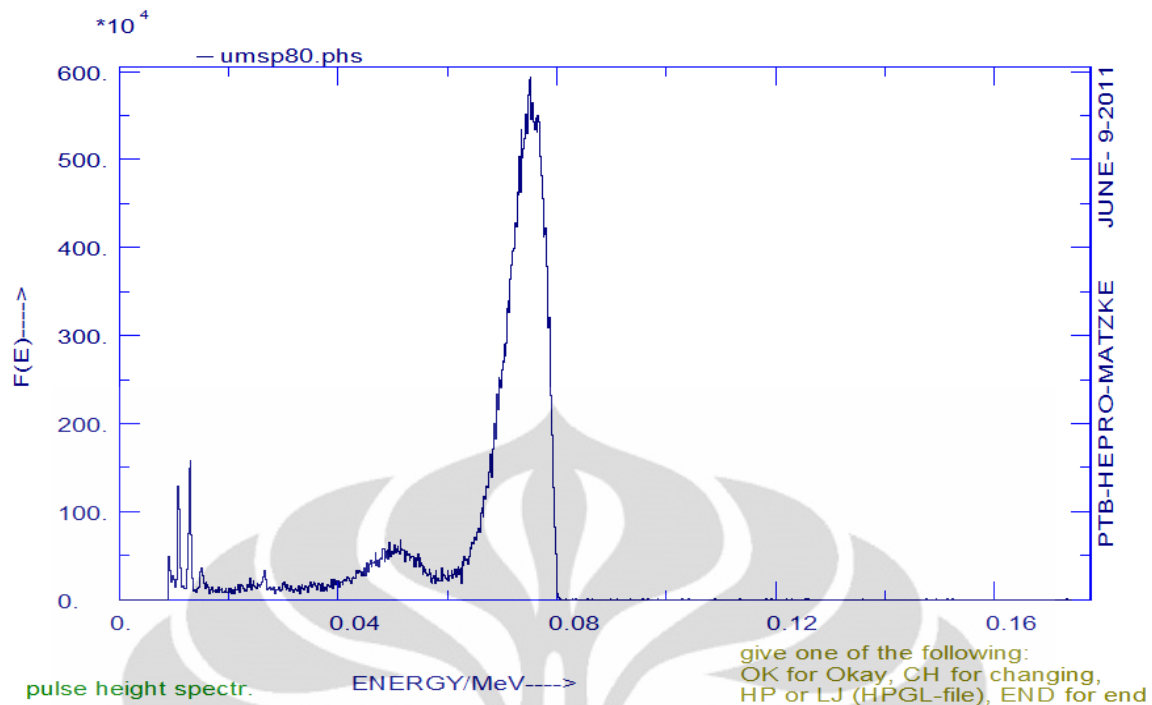




(b)



(c)



(d)

Gambar 4.2 (a – d) grafik spektrum sinar-X terhadap energy

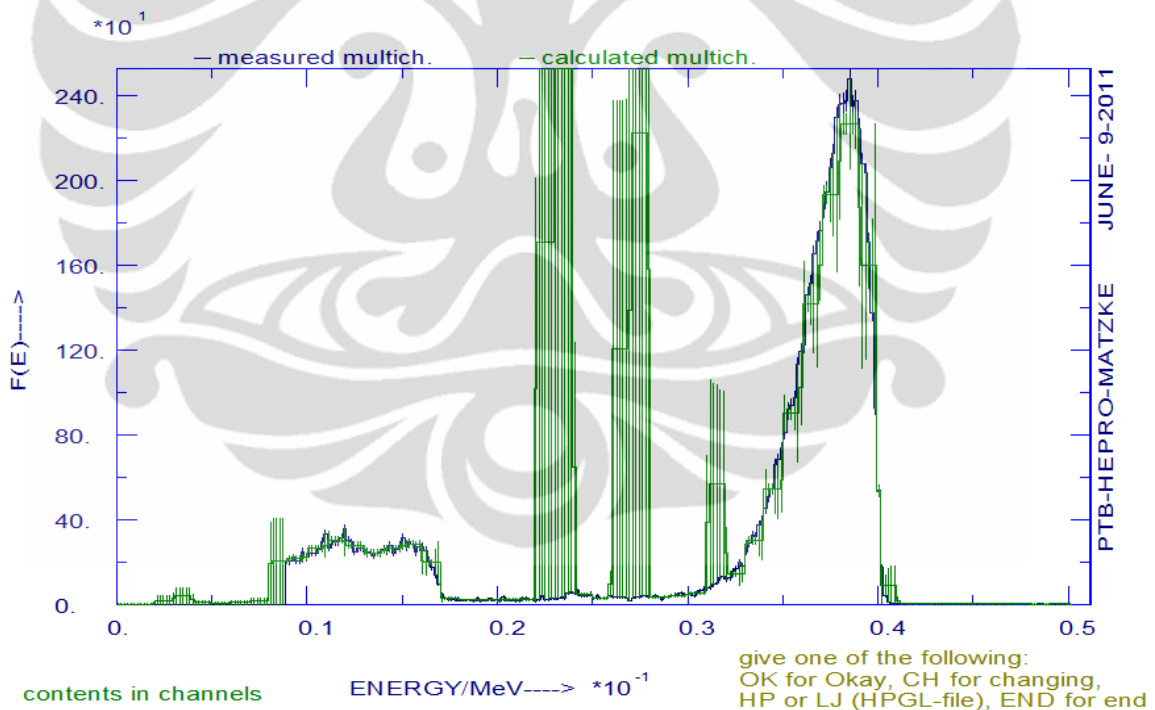
Gambar 4.2 menunjukkan spektrum sinar X pada level energi 40 KeV, 50 KeV, 70 KeV dan 80 KeV. Sumbu X pada spektrum energi radiasi adalah skala posisi chanel atau skala tinggi pulsa. Agar sumbu X tersebut dapat diubah menjadi skala energi maka perlu dilakukan kalibrasi energi, yaitu dengan melakukan pengukuran sumber radiasi standar yang memancarkan beberapa tingkat energi sehingga kemudian dapat menentukan persamaan korelasi antara energi dan posisi chanel. Pada grafik pengukuran sinar X monoenergi terlihat juga bahwa ada beberapa peak lain yang merupakan spektrum sinar X karakteristik detektor yang dikenal sebagai noise. Interaksi ini menghasilkan fluensi yang kemudian terdeteksi oleh detektor CdTe.

Pada skripsi sebelumnya dilakukan koreksi spektrum sinar-x menggunakan program HEPROW untuk mendapatkan spektrum yang sebenarnya di udara. Namun hasil koreksinya menunjukkan hasil yang kurang ideal karena masih banyaknya noise yang muncul . Penulis mencoba untuk meningkatkan akurasi koreksi spektrum dengan membuat matriks respon yang lebih ideal dengan memodelkan detektor yang hanya tersusun dari material CdTe (Cadmium Telluride).

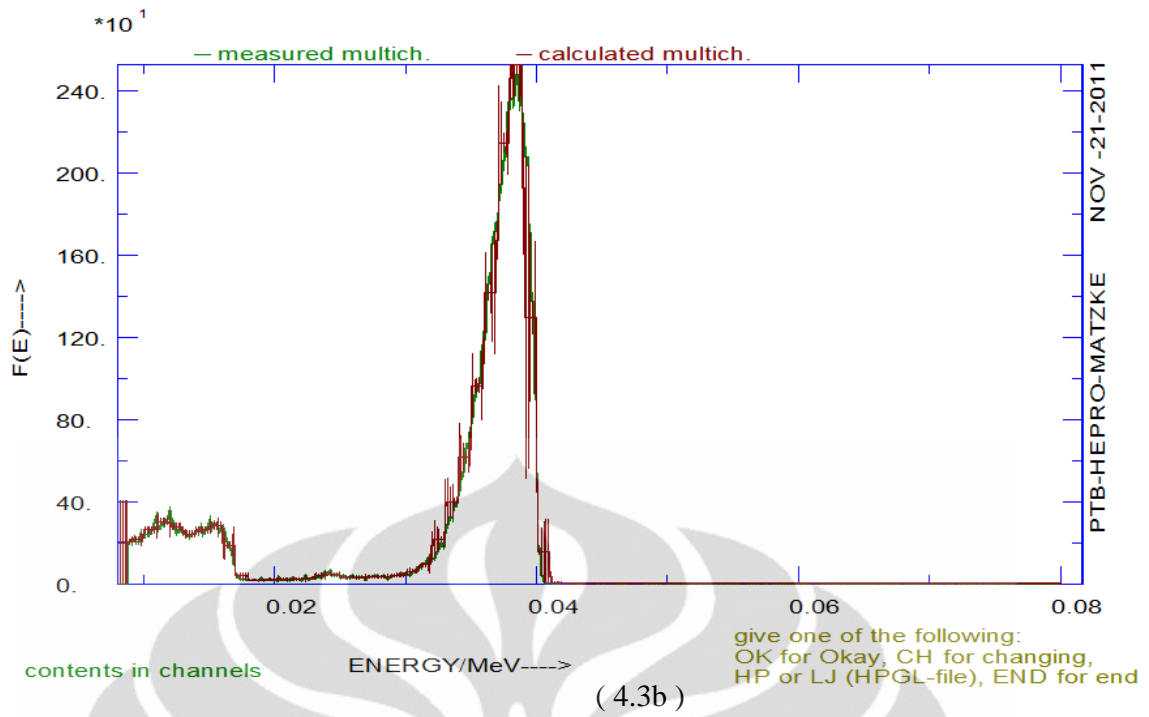
4.3 Hasil Peningkatan Koreksi

Matriks respon menentukan seberapa baik hasil koreksi spektrum dari pengukuran secara langsung, sehingga matriks respon harus dibuat seideal mungkin. Oleh karena itu, Penulis memodelkan detektor pada simulasi EGSnrc dengan material CdTe berada dalam vakum. Kemudian matriks respon original dikonversi ke format HEPROW dengan program RSPGW, begitu juga data pengukuran dikonversi dengan program UMSPHW. Proses koreksi dilakukan menggunakan program GRAVELW, kedua hasil konversi tersebut menjadi file inputnya. Tahapan terakhir ialah penulis membandingkan hasil koreksi skripsi sebelumnya dengan hasil koreksi yang penulis lakukan.

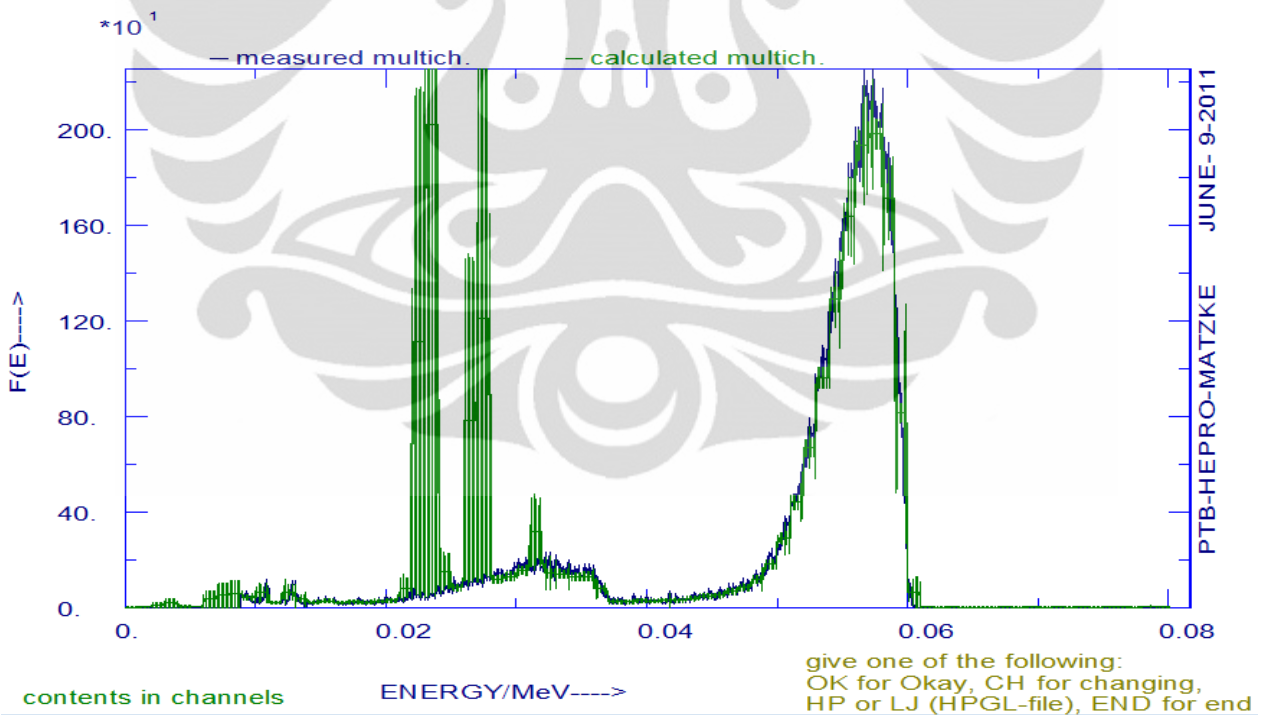
Berikut ini merupakan perbandingan hasil koreksi yang penulis lakukan dengan skripsi sebelumnya :

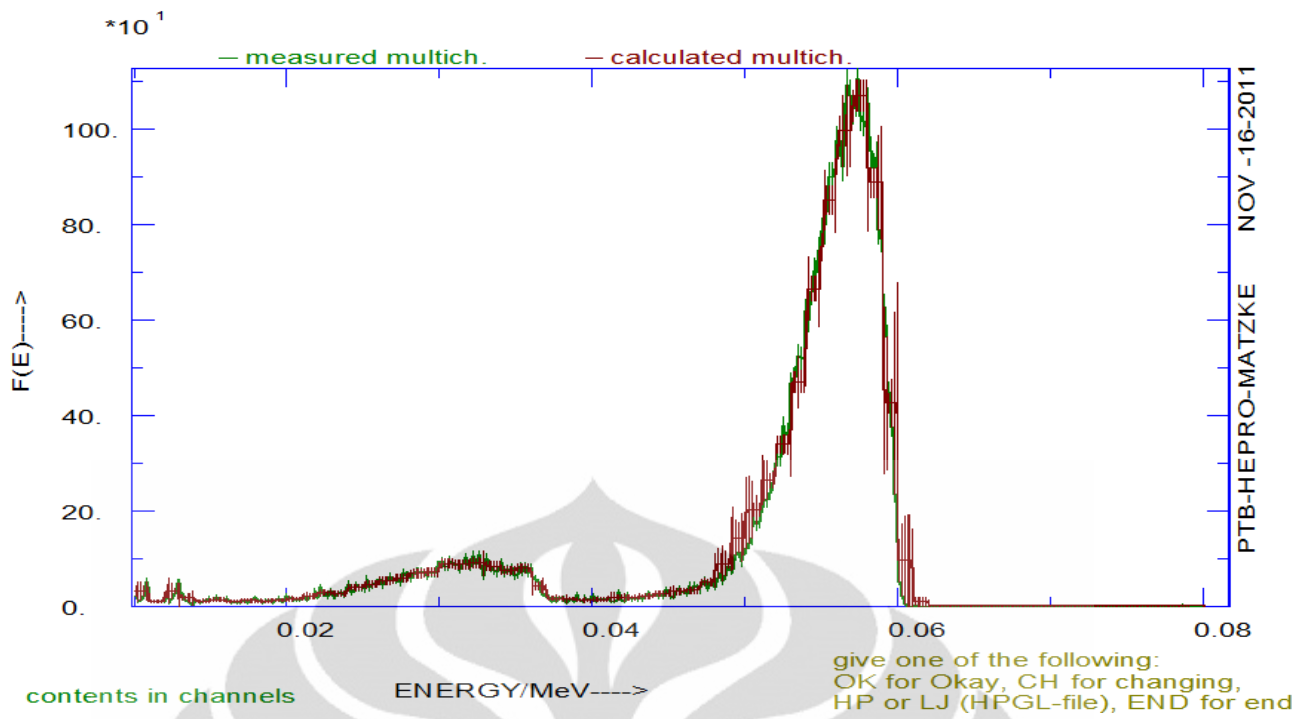


(4.3a)



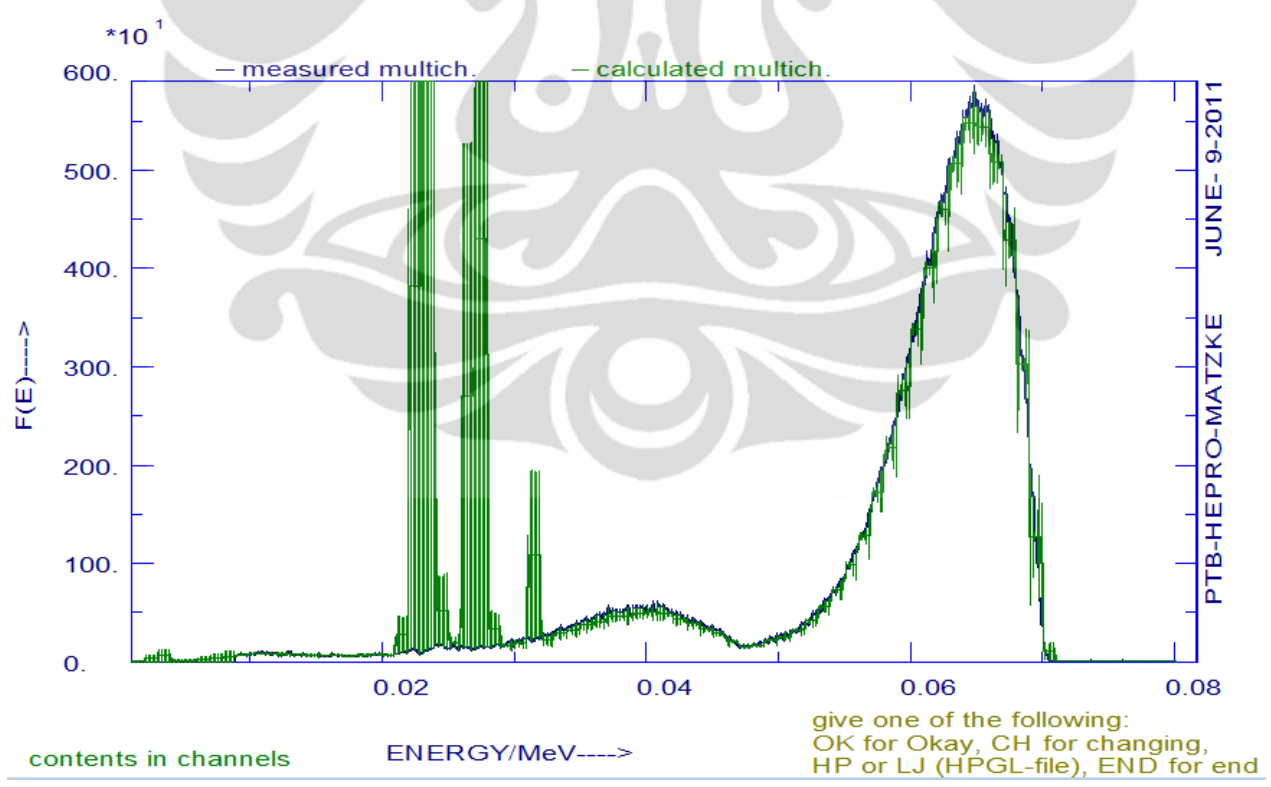
Gambar 4.3 Grafik energy sinar-X terhadap fluence pada energi 40 keV



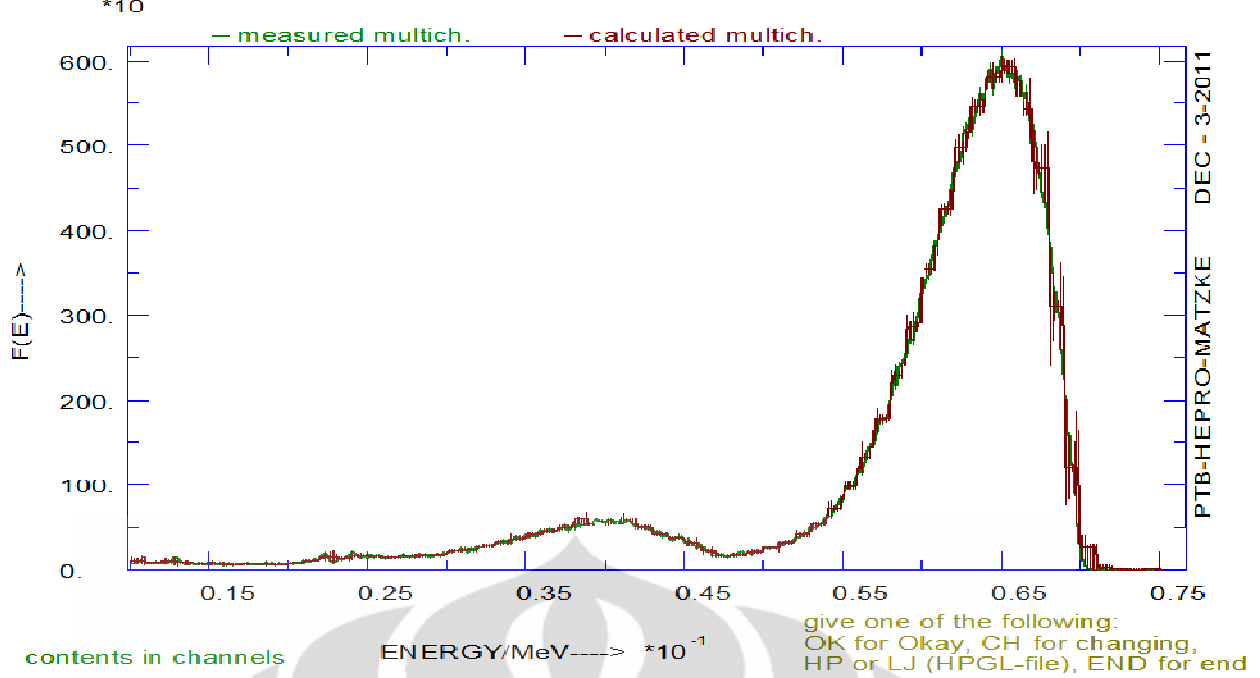


(4.4b)

Gambar 4.4 Grafik energy sinar-X terhadap fluence pada energi 50 keV

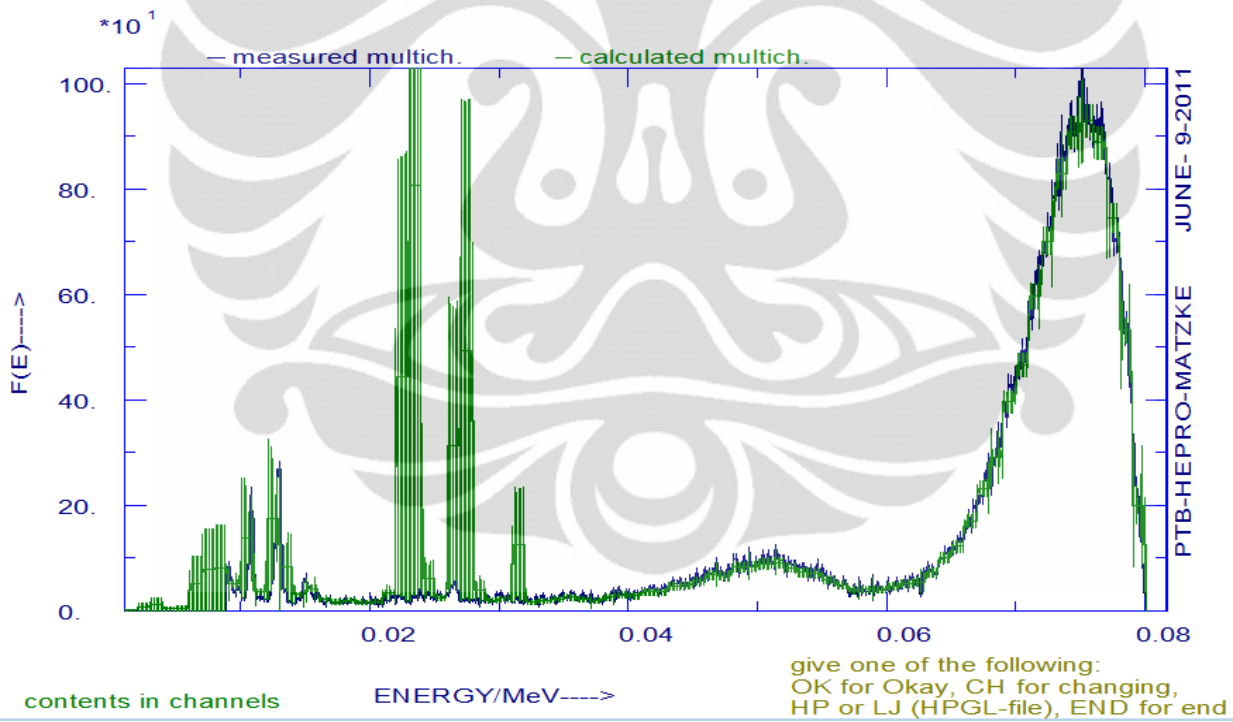


(4.5a)

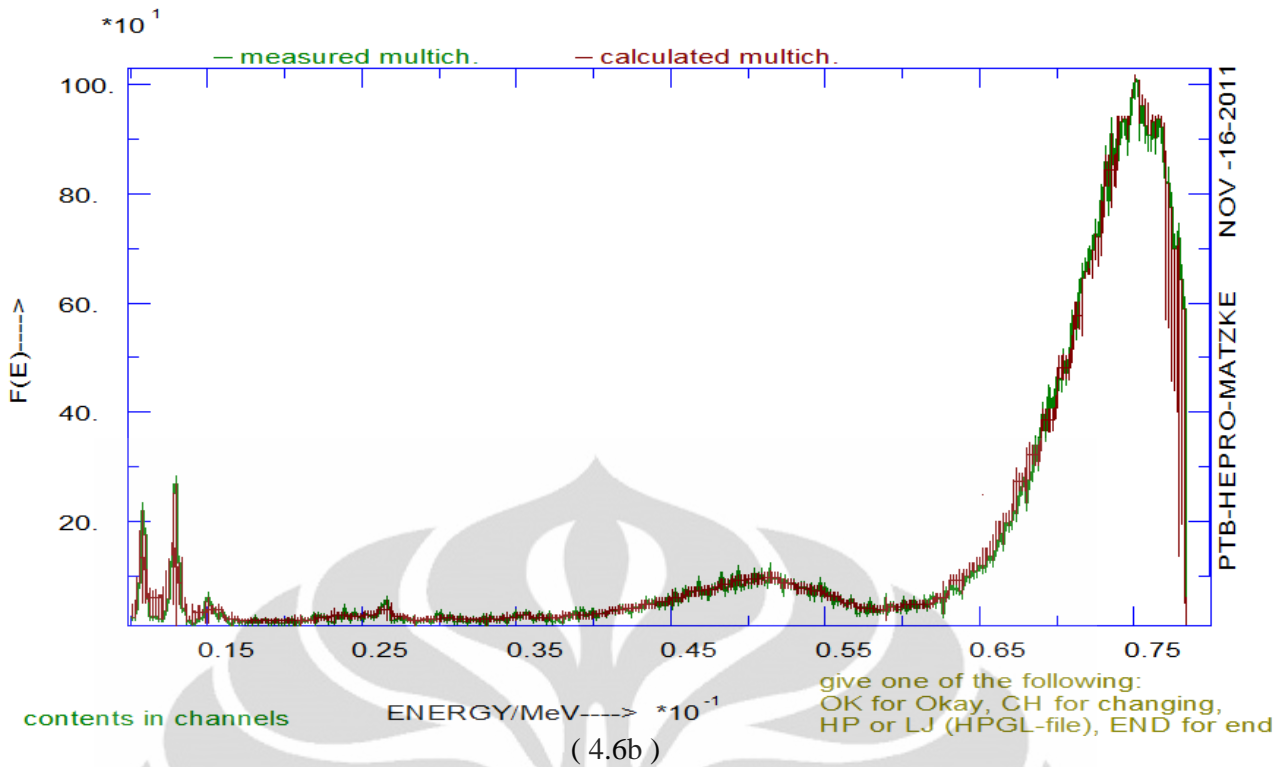


(4.5b)

Gambar 4.5 Grafik energy sinar-X terhadap fluence pada energi 70 keV



(4.6a)

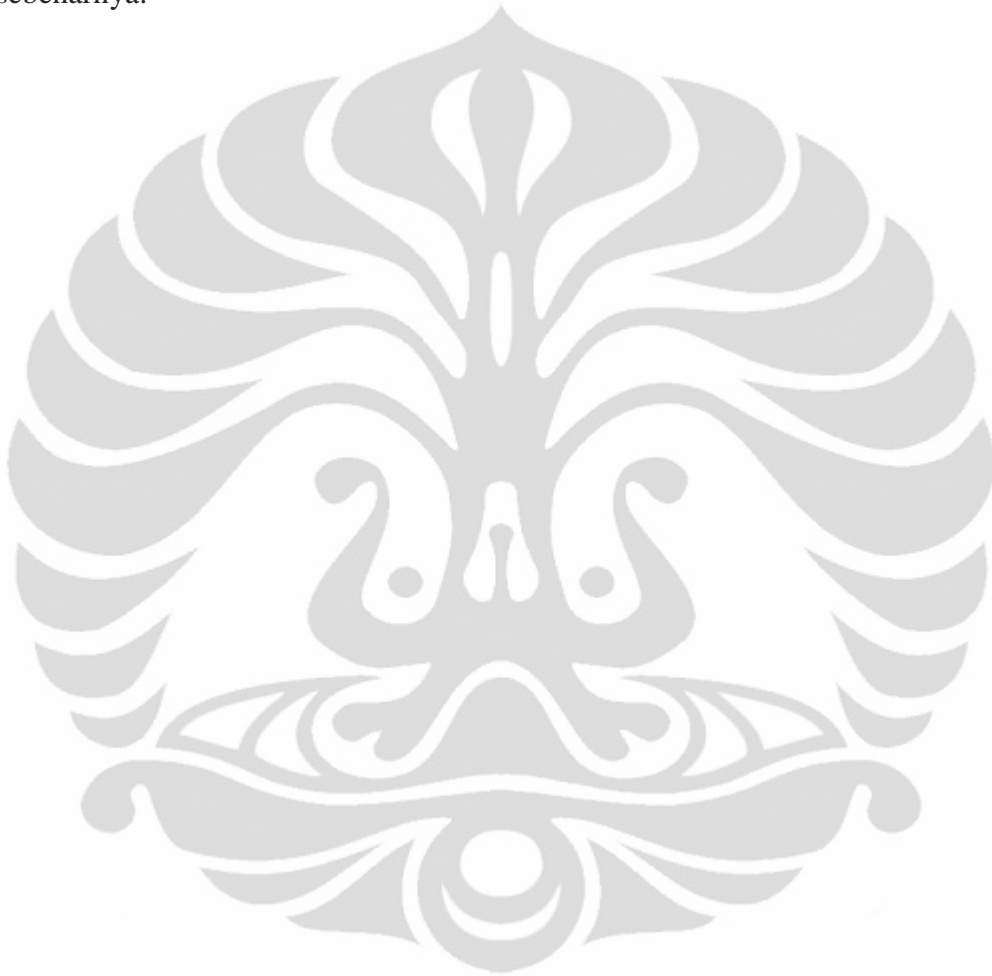


Gambar 4.6 Grafik energy sinar-X terhadap fluence pada energi 80 keV

Pada gambar 4.3a, 4.4a, 4.5a, dan 4.6a menunjukkan hasil koreksi skripsi Sahrulloh¹ dimana masih terlihat spektrum noise dalam range energi 0,02 MeV sampai 0.004 MeV. Noise ini diakibatkan oleh sejumlah interaksi antara spektrum sinar X dengan material selain CdTe pada detektor. Setelah penulis memodelkan geometri detektor yang lebih ideal pada simulasi monte carlo, ternyata spektrum noise tersebut hilang. Hal ini berkaitan dengan resolusi matriks respon yang mengalami peningkatan setelah model simulasi menghilangkan material selain CdTe. Peningkatan akurasi koreksinya dapat terlihat pada gambar 4.3b, 4.4b, 4.5b dan 4.6b. Skala energi dan banyaknya iterasi dapat diatur di program GRAVELW, semakin besar jumlah iterasinya akan semakin meningkatkan resolusi grafik, serta spektrum hasil perhitungan akan lebih akurat dalam mengoreksi spektrum pengukuran. Namun spektrum noise pada respon matriks akan diperbesar sebanyak iterasi yang ditentukan, penulis menentukan banyaknya iterasi adalah 1000000.

Awalnya penulis membentuk respon matriks pada range 2-100 KeV dengan gap energi sebesar 1 KeV dan bintop 0,0001 MeV. Namun ternyata pada range energi diatas 10 KeV, bintop energinya tidak berurutan dan cenderung membentuk baris aritmatik, sehingga untuk bintop energi yang tidak diketahui harus diinterpolasi. Oleh karena itu, akhirnya penulis memperbesar bintop energinya menjadi 0,001 MeV agar semua bintop energi diketahui.

Metode yang digunakan sama seperti skripsi Sahrulloh¹ yaitu metode unfolding, prinsip kerja metode ini adalah menormalisasi spektrum hasil pengukuran di detektor dengan respon idealnya. Radiasi sinar X yang berinteraksi dengan detektor akan melewati lapisan-lapisan detektor, dengan metode unfolding akan membuka setiap lapisan tersebut dan akhirnya spektrum yang terbaca adalah spektrum sinar X yang sebenarnya.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil pengukuran spektroskopi seringkali mendapatkan gangguan berupa noise sehingga hasil yang diperoleh tidak ideal, banyak faktor yang menyebabkan hal ini terjadi. Salah satunya adalah terukurnya adanya interaksi radiasi dengan material selain sumber radiasi primer, hal ini akan menimbulkan spektrum noise yang seharusnya tidak terukur. Sehingga diperlukan sebuah metode untuk mengoreksi hasil pengukuran agar diperoleh spektrum yang sebenarnya. Peningkatan hasil koreksi dapat dilakukan dengan meningkatkan resolusi matriks respon dan membuat model simulasi detektor seideal mungkin yaitu pada kondisi vakum. Spektrum noise hasil pengukuran dapat dihilangkan dengan metode unfolding yang aplikasinya terdapat pada paket program HEPROW. Dalam menjalankan program ini dibutuhkan input data pengukuran dan fungsi respon, keduanya harus dikonversi terlebih dahulu ke format HEPROW. Parameter yang menentukan keberhasilan hasil koreksi adalah seberapa banyak noise yang dapat dihilangkan, sehingga akhirnya diperoleh spektrum sinar X yang sebenarnya. Dengan memperbaiki matriks respon, noise yang muncul akibat interaksi radiasi dengan detektor dapat diminimalisir

5.2 Saran dan Rekomendasi

Penelitian ini hanya terbatas pada satu sumber pemancar sinar X. Untuk itu disarankan menggunakan sumber lain agar diketahui seberapa ideal metode ini dilakukan pada sumber lain. Selain itu, jangkauan respon matriks diperluas pada range energi lebih dari 100 keV, agar hasil pengukuran yang energinya besar juga dapat dikoreksi. Namun harus memperhatikan karakteristik jenis detektornya karena setiap detektor mempunyai kemampuan berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- ¹Sahrulloh.(2011). *koreksi hasil pengukuran spektrum sinar-x menggunakan detektor cdte dengan metode unfolding*. Depok: Universitas Indonesia.
- K. Debertin and R.G. Helmer, *Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*, North-Holland, Amsterdam, 1988.
- Matzke, M. (2002). Propagation of uncertainties in unfolding procedures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 476.
- Matzke, M., & Weise, K. (1989). A priori distribution from the principle of maximum entropy for the Monte Carlo unfolding of particle energy spectra. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*.
- Karl, W. (1989). A priori distributions from the principle of maximum entropy for the Monte Carlo unfolding of particle energy spectra. *Nucl. Instr. and Methods A280 (1989) 103-112*.
- Karl, W. (1995). *Mathematical Foundation of an Analytical Approach to Bayesian-Statistical Monte Carlo Spectrum Unfolding*.
- Makoto, H., Masahiko, O., & et, al (2009). Simulation Study on Unfolding Methods for Diagnostic X-rays. *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, 46, 76-82.
- Novotny, T., Buermann, L., Guldbakke, S., & Klein, H. (1997). Response of NE2 13 liquid scintillation detectors to high-energy photons (7 MeV <E < 20 MeV). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 400
- Imamura, R., & Mikami, K. (2010). Unfolding Method with X-ray Path Length-Dependant Response Functions for Computed Tomography Using X-ray Energy Information. *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, 47, 1075–1082.

LAMPIRAN 1 DATA PENGUKURAN

1.1 Data Pengukuran 40 KeV

Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
1	0	50	0	99	136	148	29	197	326
2	0	51	0	100	97	149	38	198	319
3	0	52	0	101	47	150	30	199	375
4	0	53	204	102	30	151	26	200	394
5	0	54	202	103	24	152	27	201	450
6	0	55	222	104	24	153	41	202	506
7	0	56	207	105	20	154	32	203	543
8	0	57	205	106	19	155	33	204	659
9	0	58	248	107	19	156	33	205	684
10	0	59	220	108	19	157	32	206	735
11	0	60	238	109	20	158	31	207	810
12	0	61	241	110	19	159	19	208	919
13	0	62	243	111	16	160	31	209	940
14	0	63	256	112	27	161	34	210	976
15	0	64	294	113	16	162	32	211	1129
16	0	65	329	114	18	163	41	212	1193
17	0	66	266	115	18	164	38	213	1220
18	0	67	284	116	26	165	34	214	1456
19	0	68	294	117	18	166	32	215	1514
20	0	69	295	118	21	167	41	216	1651
21	0	70	316	119	15	168	37	217	1714
22	0	71	356	120	34	169	24	218	1765
23	0	72	300	121	19	170	35	219	1864
24	0	73	292	122	19	171	36	220	1946
25	0	74	249	123	22	172	39	221	2058
26	0	75	263	124	14	173	43	222	2123
27	0	76	266	125	17	174	47	223	2294
28	0	77	248	126	27	175	50	224	2358
29	0	78	249	127	30	176	43	225	2364
30	0	79	241	128	20	177	49	226	2372
31	0	80	230	129	20	178	47	227	2477
32	0	81	243	130	17	179	42	228	2349
33	0	82	245	131	21	180	56	229	2377
34	0	83	259	132	40	181	64	230	2242
35	0	84	251	133	24	182	72	231	2080

36	0	85	278	134	21	183	74	232	2034
37	0	86	241	135	27	184	80	233	1706
38	0	87	256	136	25	185	94	234	1377
39	0	88	278	137	28	186	103	235	925
40	0	89	314	138	35	187	123	236	537
41	0	90	271	139	27	188	132	237	174
42	0	91	292	140	54	189	120	238	42
43	0	92	285	141	58	190	126	239	12
44	0	93	247	142	53	191	155	240	0
45	0	94	269	143	62	192	167	....	0
46	0	95	271	144	42	193	195	.....	0
47	0	96	255	145	40	194	178	.....	0
48	0	97	206	146	38	195	248	.....	0
49	0	98	172	147	49	196	286	1024	0

1.2 Data Pengukuran 50 KeV

Ch.	Fluence	Ch.	Fluence	Ch.	Fluence	Ch.	Fluence	Ch.	Fluence	Ch.	Fluence	Ch.	Fluence
1	0	97	8	146	39	195	65	244	9	293	112	342	1005
...	0	98	10	147	39	196	100	245	9	294	94	343	1055
.....	0	99	7	148	36	197	88	246	13	295	108	344	954
.....	0	100	7	149	56	198	82	247	30	296	120	345	920
52	0	101	10	150	39	199	76	248	12	297	131	346	942
53	28	102	11	151	44	200	71	249	9	298	142	347	789
54	21	103	8	152	47	201	84	250	23	299	179	348	770
55	30	104	10	153	49	202	90	251	17	300	172	349	628
56	24	105	12	154	55	203	69	252	15	301	177	350	566
57	16	106	17	155	44	204	78	253	19	302	212	351	449
58	12	107	11	156	53	205	72	254	15	303	222	352	376
59	11	108	12	157	53	206	79	255	19	304	223	353	235
60	20	109	6	158	61	207	65	256	15	305	238	354	134
61	11	110	11	159	54	208	68	257	21	306	260	355	51
62	13	111	12	160	54	209	83	258	26	307	282	356	20
63	20	112	9	161	58	210	72	259	23	308	312	357	4
64	51	113	7	162	50	211	82	260	22	309	313	358	0
65	40	114	12	163	70	212	70	261	25	310	377	359	0
66	10	115	16	164	63	213	79	262	21	311	360	360	0
67	9	116	10	165	64	214	60	263	27	312	365	361	0
68	10	117	9	166	59	215	56	264	20	313	467	362	0
69	10	118	22	167	67	216	50	265	35	314	477	363	0

70	10	119	17	168	71	217	30	266	30	315	481	364	0
71	9	120	17	169	71	218	26	267	20	316	525	365	0
72	19	121	13	170	72	219	22	268	19	317	521	366	0
73	6	122	12	171	70	220	18	269	31	318	518	367	0
74	16	123	12	172	63	221	10	270	36	319	618	368	0
75	27	124	18	173	69	222	17	271	29	320	600	369	0
76	48	125	19	174	69	223	9	272	31	321	659	370	0
77	48	126	12	175	70	224	17	273	27	322	704	371	0
78	25	127	20	176	84	225	15	274	43	323	699	372	0
79	13	128	20	177	85	226	16	275	32	324	747	373	0
80	9	129	31	178	93	227	8	276	43	325	786	374	0
81	8	130	19	179	83	228	13	277	39	326	789	375	0
82	3	131	39	180	83	229	13	278	33	327	828	376	0
83	9	132	25	181	95	230	10	279	46	328	900	377	0
84	9	133	27	182	91	231	23	280	54	329	901	378	0
85	6	134	21	183	87	232	13	281	37	330	918	379	0
86	11	135	31	184	85	233	9	282	51	331	976	380	0
87	12	136	20	185	77	234	19	283	48	332	975	381	0
88	16	137	20	186	88	235	13	284	40	333	923	382	0
89	12	138	25	187	101	236	16	285	58	334	1056	383	0
90	12	139	30	188	86	237	21	286	69	335	1093	.....	0
91	18	140	24	189	84	238	11	287	53	336	1072	.....	0
92	12	141	34	190	104	239	16	288	63	337	1043	.....	0
93	12	142	46	191	89	240	15	289	83	338	1060	.....	0
94	12	143	28	192	106	241	12	290	75	339	1106	.....	0
95	16	144	35	193	87	242	15	291	78	340	1029	.....	0
96	9	145	45	194	65	243	16	292	106	341	1018	1024	0

1.3 Data Pengukuran 70 KeV

Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Flue
1	0	97	65	146	154	195	309	244	584	293	212	342	2049	5630
...	0	98	54	147	141	196	328	245	578	294	209	343	2176	5372
.....	0	99	62	148	147	197	316	246	547	295	245	344	2391	5086
.....	0	100	64	149	167	198	344	247	514	296	245	345	2424	5179
52	0	101	61	150	137	199	328	248	513	297	251	346	2489	4972
53	86	102	66	151	156	200	353	249	503	298	262	347	2548	4681
54	97	103	76	152	164	201	324	250	506	299	251	348	2722	4460
55	103	104	60	153	136	202	369	251	496	300	317	349	2703	4334
56	96	105	68	154	130	203	396	252	488	301	301	350	2932	4019
57	84	106	60	155	141	204	385	253	474	302	297	351	2975	3799
58	78	107	56	156	135	205	372	254	450	303	335	352	3190	3507
59	95	108	62	157	149	206	406	255	447	304	330	353	3314	3264
60	71	109	61	158	137	207	398	256	452	305	337	354	3437	3030
61	74	110	86	159	139	208	403	257	400	306	363	355	3469	2591
62	83	111	59	160	140	209	423	258	411	307	374	356	3649	2300
63	94	112	69	161	176	210	395	259	421	308	400	357	3816	2004
64	140	113	54	162	150	211	434	260	370	309	420	358	3882	1575
65	139	114	59	163	145	212	467	261	353	310	443	359	4039	1235
66	76	115	69	164	160	213	457	262	376	311	422	360	4050	898
67	81	116	60	165	143	214	468	263	401	312	495	361	4151	541
68	72	117	64	166	151	215	478	264	390	313	502	362	4286	324
69	88	118	63	167	170	216	470	265	336	314	501	363	4480	107
70	77	119	71	168	157	217	457	266	320	315	534	364	4671	41
71	77	120	65	169	180	218	474	267	358	316	542	365	4693	13
72	71	121	81	170	167	219	478	268	324	317	594	366	4801	5
73	75	122	81	171	142	220	497	269	298	318	623	367	4920	0
74	83	123	87	172	156	221	522	270	254	319	639	368	5155	0
75	86	124	71	173	179	222	467	271	305	320	631	369	5191	0
76	139	125	95	174	169	223	508	272	266	321	708	370	5250	0
77	131	126	89	175	154	224	532	273	240	322	772	371	5196	0
78	98	127	104	176	185	225	494	274	205	323	837	372	5340	0
79	80	128	125	177	183	226	544	275	202	324	825	373	5464	0
80	62	129	111	178	207	227	503	276	160	325	945	374	5612	0
81	58	130	150	179	200	228	533	277	158	326	970	375	5529	0
82	63	131	169	180	222	229	544	278	173	327	981	376	5725	0
83	65	132	188	181	217	230	540	279	174	328	980	377	5741	0
84	58	133	165	182	241	231	550	280	158	329	1095	378	5902	0
85	70	134	93	183	219	232	494	281	146	330	1176	379	5663	0
86	77	135	81	184	240	233	566	282	155	331	1155	380	5856	0
87	58	136	98	185	210	234	570	283	171	332	1267	381	5935	0

88	75	137	131	186	246	235	566	284	157	333	1403	382	6051	0
89	71	138	115	187	219	236	556	285	162	334	1451	383	5947	0
90	86	139	123	188	274	237	585	286	201	335	1454	384	5887	0
91	71	140	143	189	268	238	581	287	199	336	1517	385	5796	0
92	61	141	167	190	272	239	561	288	166	337	1630	386	5859	0
93	70	142	197	191	277	240	512	289	200	338	1751	387	5737	0
94	54	143	187	192	286	241	571	290	179	339	1761	388	5817	0
95	54	144	161	193	296	242	530	291	212	340	1781	389	5753	0
96	69	145	134	194	293	243	554	292	215	341	1946	390	5546	0

1.4 Data Pengukuran 80 KeV

Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue
1	0	134	47	183	18	232	15	281	20	330	24	378	22
...	0	135	35	184	14	233	16	282	18	331	14	379	18
.....	0	136	36	185	17	234	24	283	21	332	12	380	14
.....	0	137	24	186	18	235	32	284	22	333	22	381	17
89	0	138	15	187	18	236	31	285	14	334	28	382	25
90	75	139	18	188	20	237	24	286	11	335	27	383	29
91	91	140	17	189	20	238	23	287	16	336	23	384	26
92	80	141	13	190	15	239	34	288	20	337	20	385	24
93	62	142	11	191	13	240	42	289	19	338	20	386	25
94	48	143	14	192	13	241	34	290	18	339	18	387	27
95	40	144	19	193	15	242	24	291	19	340	19	388	33
96	34	145	23	194	17	243	19	292	22	341	23	389	38
97	33	146	23	195	20	244	23	293	23	342	27	390	30
98	41	147	21	196	19	245	30	294	22	343	25	391	21
99	45	148	26	197	14	246	35	295	18	344	18	392	29
100	41	149	42	198	13	247	32	296	15	345	14	393	40
101	32	150	58	199	15	248	26	297	17	346	19	394	40
102	24	151	62	200	14	249	24	298	23	347	25	395	34
103	21	152	56	201	16	250	23	299	30	348	26	396	28
104	25	153	47	202	20	251	20	300	30	349	29	397	28
105	35	154	43	203	17	252	22	301	29	350	33	398	31
106	45	155	41	204	14	253	30	302	32	351	31	399	34
107	80	156	35	205	19	254	32	303	31	352	26	400	37
108	163	157	26	206	20	255	29	304	25	353	24	401	36
109	224	158	20	207	12	256	28	305	19	354	25	402	30
110	205	159	27	208	13	257	26	306	19	355	28	403	24
111	139	160	34	209	19	258	24	307	25	356	32	404	28
112	70	161	30	210	15	259	26	308	28	357	34	405	32

113	34	162	26	211	11	260	29	309	24	358	32	406	32
114	25	163	24	212	19	261	31	310	19	359	30	407	33
115	24	164	20	213	23	262	34	311	17	360	28	408	33
116	25	165	15	214	18	263	40	312	15	361	24	409	30
117	27	166	11	215	17	264	45	313	18	362	20	410	29
118	25	167	12	216	20	265	48	314	24	363	19	411	34
119	22	168	18	217	21	266	53	315	24	364	24	412	38
120	21	169	23	218	25	267	55	316	18	365	30	413	38
121	21	170	23	219	29	268	47	317	17	366	32	414	36
122	21	171	17	220	22	269	33	318	17	367	29	415	36
123	25	172	13	221	14	270	22	319	15	368	27	416	38
124	35	173	15	222	22	271	18	320	15	369	24	417	41
125	44	174	17	223	31	272	20	321	18	370	17	418	42
126	62	175	17	224	28	273	21	322	21	371	20	419	42
127	99	176	15	225	26	274	22	323	21	372	30	420	41
128	164	177	15	226	26	275	23	324	21	373	27	421	41
129	240	178	19	227	23	276	23	325	19	374	16	422	40
130	282	179	18	228	20	277	20	326	17	375	15	423	38
131	262	180	14	229	17	278	18	327	15	376	19	424	33
132	179	181	20	230	17	279	19	328	16	377	23	425	31
133	94	182	24	231	18	280	20	329	23	378	22	426	36

lanjutan

Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue	Ch.	Flue
425	31	474	67	523	77	571	34	619	60	667	196	716	627
426	36	475	61	524	74	572	30	620	64	668	200	717	643
427	42	476	64	525	89	573	32	621	58	669	193	718	649
428	44	477	72	526	93	574	38	622	49	670	196	719	656
429	42	478	79	527	86	575	44	623	51	671	207	720	666
430	41	479	80	528	84	576	46	624	59	672	218	721	675
431	41	480	78	529	86	577	37	625	65	673	216	722	677
432	42	481	78	530	88	578	32	626	51	674	216	723	681
433	44	482	88	531	83	579	47	627	31	675	234	724	693
434	50	483	99	532	76	580	53	628	45	676	251	725	715
435	55	484	101	533	76	581	39	629	73	677	261	726	726
436	55	485	90	534	80	582	35	630	71	678	276	727	716
437	51	486	74	535	81	583	41	631	68	679	279	728	734
438	51	487	72	536	82	584	39	632	80	680	249	729	780
439	52	488	80	537	82	585	34	633	83	681	236	730	784
440	55	489	89	538	80	586	36	634	76	682	265	731	783
441	56	490	96	539	74	587	35	635	75	683	282	732	837
442	52	491	97	540	64	588	35	636	78	684	289	733	848
443	46	492	84	541	67	589	50	637	76	685	320	734	792

444	46	493	77	542	78	590	60	638	71	686	338	735	821
445	52	494	98	543	74	591	44	639	67	687	318	736	905
446	51	495	109	544	62	592	34	640	73	688	314	737	891
447	46	496	89	545	66	593	44	641	85	689	345	738	848
448	53	497	78	546	79	594	50	642	96	690	384	739	859
449	62	498	84	547	89	595	46	643	100	691	396	740	878
450	60	499	91	548	79	596	41	644	98	692	372	741	887
451	51	500	93	549	63	597	39	645	103	693	375	742	908
452	45	501	89	550	70	598	40	646	111	694	417	743	933
453	59	502	84	551	80	599	37	647	109	695	436	744	942
454	71	503	85	552	73	600	38	648	106	696	424	745	928
455	60	504	97	553	68	601	50	649	107	697	409	746	903
456	51	505	104	554	68	602	56	650	113	698	411	747	902
457	56	506	96	555	56	603	42	651	119	699	433	748	926
458	63	507	90	556	49	604	37	652	118	700	454	749	955
459	69	508	95	557	59	605	45	653	115	701	462	750	980
460	74	509	102	558	63	606	46	654	116	702	456	751	997
461	73	510	103	559	54	607	45	655	121	703	462	752	1014
462	64	511	99	560	54	608	53	656	128	704	487	753	1012
463	64	512	91	561	59	609	53	657	135	705	491	754	961
464	70	513	85	562	56	610	43	658	136	706	473	755	926
465	72	514	97	563	50	611	43	659	131	707	473	756	949
466	70	515	113	564	47	612	49	660	132	708	499	757	956
467	69	516	107	565	46	613	47	661	144	709	541	758	928
468	79	517	95	566	48	614	49	662	156	710	572	759	911
469	90	518	94	567	54	615	57	663	167	711	579	760	907
470	79	519	96	568	59	616	53	664	178	712	562	761	903
471	65	520	95	569	56	617	44	665	174	713	556	762	913
472	70	521	98	570	46	618	49	666	159	714	588	763	929
473	74	522	94	571	34	619	60	667	169	715	627	764	919

Lampiran 2

File input Untuk Program Heprow

2.1 Program UMSPHW

<i>Ums40.log</i>	<i>file protokol</i>
<i>pengukuran 50KeV</i>	<i>judul data hasil transformasi</i>
<i>40.txt</i>	<i>file data hasil pengukuran</i>
<i>ums50.phs</i>	<i>file data hasil transformasi</i>
<i>0</i>	<i>X10, channel energi sama dengan 0</i>
<i>17E-5</i>	<i>gap energi tiap channel dalam MeV</i>
<i>0.0</i>	<i>nilai Q dari Heprow</i>
<i>0.0</i>	<i>waktu koreksi (death time correction)</i>
<i>1.0</i>	<i>perhitungan waktu fluence</i>
<i>1.0</i>	<i>pembagi hasil pembacaan</i>
<i>0</i>	<i>penambahan fluence dari background</i>
<i>0</i>	<i>tidak ada baris yang di skip selama perhitungan</i>
<i>1024</i>	<i>jumlah channel hasil pembacaan pengukuran</i>

Untuk file hasil pengukuran 50 KeV, 70 KeV, dan 80 KeV semua input file sama dengan diatas, hanya saja disesuaikan untuk file protocol, judul data hasil transformasi, nama file hasil pengukuran dan channel pengukuran.

2.2 Program GRAVELW

<i>Grv50.log</i>	<i>nama file protocol</i>
<i>0.0,0</i>	<i>nilai q dari heprow, algoritme ISPUNIT</i>
<i>Ums50.phs</i>	<i>nama file hasil tranformasi</i>
<i>0.001,0.080</i>	<i>range energy yang ingin dikoreksi (MeV)</i>
<i>1.0</i>	<i>koreksi energy</i>
<i>...fortran\rsp12.rsp</i>	<i>nama file fungsi respon</i>
<i>0</i>	<i>tidak ada file fluence lain</i>
<i>0.5,1000000,200,1</i>	<i>eps,msand,adr,modpl</i>
<i>grv.flu</i>	<i>file fluence hasil perhitungan</i>
<i>grv.phs</i>	<i>output hasil perhitungan data pengukuran</i>
<i>grv.pds</i>	<i>output hasil perhitungan file yang berbeda</i>
<i>n</i>	<i>tidak ada skala standar deviasi</i>
<i>j</i>	<i>diinginkan output unfana.ASC</i>

Untuk file hasil pengukuran 50 KeV, 70 KeV, dan 80 KeV semua input file sama dengan diatas, hanya saja disesuaikan untuk file protocol, dan file input yang telah ditransformasi.



