



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KOREKSI HASIL PENGUKURAN SPEKTRUM SINAR-X  
MENGUNAKAN DETEKTOR CdTe DENGAN METODE  
UNFOLDING**

**SKRIPSI**

**SAHRULLOH  
0606068682**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KOREKSI HASIL PENGUKURAN SPEKTRUM SINAR-X  
MENGUNAKAN DETEKTOR CdTe DENGAN METODE  
UNFOLDING**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains**

**SAHRULLOH  
0606068682**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS


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

Nama : Sahrulloh

NPM : 0606068682

Tanda Tangan :

Tanggal

  
: 22 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Sahrulloh  
NPM : 0606068682  
Program Studi : *S-1 Reguler*  
Judul : koreksi hasil pengukuran spektrum sinar-x  
menggunakan detektor cdte dengan metode  
unfolding

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 : Dwi Seno K, M.Si  
Pembimbing : Heru Prasetyo M.Si  
Penguji : Prof. Dr. Djarwani S. soejoko  
Penguji : Dr. Seruni U Fresleben



(.....)  
(.....)  
(.....)  
(.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 10 Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Tuhan semesta alam yang telah menciptakan langit dan bumi serta segala apa yang ada diantara keduanya. Shalawat serta salam semoga selalu kita limpahkan kepada Nabi besar Muhammad saw, seorang yang berjasa besar dalam proses transformasi peradaban di muka bumi sekaligus membawa umat manusia dari jurang kemiskinan aqidah menuju kepada cahaya ilahiyah.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT penulis telah berhasil menyelesaikan skripsi ini. Rasa terimakasih penulis sampaikan kepada orang-orang yang telah banyak berperan dalam hal 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. Dr. seruni UF yang telah menjadi penguji dan membantu penulis dalam berbagai revisi sehingga skripsi ini menjadi lebih baik seperti ini.
4. Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko selaku ketua peminatan fisika medis yang telah memberikan saran dan rekomendasi kepada penulis dalam menyusun proposal penelitian ini.
5. 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.
6. 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.

7. Kepada seluruh anggota keluarga, kakak-kakak, adik penulis yang telah banyak memberikan semangat disetiap sisi perjalanan kuliah ini.
8. Kak Susanto Jamil yang selalu membimbing penulis terhadap dinamika kampus.
9. Kepada seluruh teman-teman fisika UI dan teman-teman fisika angkatan 2006 khususnya, Andi Oktavian Latief, Agus Supriatna, Agus Sulistio, Ahmad Fauzi, Harris Setyo F, Iyan Subiyanto, 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. Mushalla 'Izzatul Islam (MII) angkatan 2009 (Alfaris, Adriansyah, Dzil, Didin, Tedy, Imam, Indra, Hifzi, Firman, Ali, Iyan, 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.
2. BEM FMIPA UI terutama kesma BEM FMIPA UI 2007 yang telah meringankan beban penulis dalam menjalankan perkuliahan
3. 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.
4. Kepada “geng” PELANGI 06 yang telah menjadi sahabat dan forum tausiah.

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.

Juni 2011

Penulis

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

---

---

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

Nama : Sahrulloh  
NPM : 0606068682  
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:

Koreksi Hasil Pengukuran Spektrum Sinar-X Menggunakan Detektor CdTe Dengan Metode Unfolding

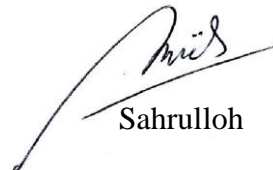
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Tanggal : 22 Juni 2011

Yang menyatakan

  
Sahrulloh

## ABSTRAK

Nama : Sahrulloh

Program studi : Fisika Medis

Judul : Koreksi Hasil Pengukuran Spektrum Sinar-X Menggunakan Detektor CdTe dengan Metode Unfolding

Dalam setiap pengukuran sinar-X dengan menggunakan detector, *noise* dan spektrum yang bukan berasal dari sumber yang kita inginkan pasti akan terjadi sehingga menyebabkan interpretasi hasil pengukuran tidak akurat. *Noise* spektrum lain yang muncul dalam pengukuran dapat dikoreksi dengan menggunakan bantuan metode *unfolding*. Metode *unfolding* membutuhkan bantuan matrik respon detektor pada kondisi ideal untuk mengkoreksi hasil pengukurann. Matrik respon dibuat pada rentang 2keV-100keV menggunakan simulasi spektrum diskrit dengan program simulasi monte carlo *egsnrcMP*. Matrik respon yang dibuat telah berhasil menghilangkan noise pada hasil pengukuran spektrum pada tegangan tabung sinarX 40kV, 50kV, 70kV dan 80kV. Akan tetapi noise akibat noise respon dari matrik respon pada eneri rendah muncul cukup signifikan pada energy 20keV-30keV.

Kata Kunci : Diagnostik, detektor CdTe, respon matriks, spektrum sinar-X simulasi Monte Carlo, program *Heprow*

xiii+53 halaman : 11 gambar; 1 tabel

Daftar Pustaka : 17 (1989-2010)



## ABSTRACT

Name : Sahrulloh  
Programe study : Medical physic  
Title : Correction of Measurement Results of X-ray Spectra using CdTe detectors with Unfolding Method

In every x-ray measurement using a detector, noise and spectrum which not from the source that we did not expected is always created so it makes an inaccurate result interpretation. Other spectrum which appear in measurement can be corrected using unfolding method. Unfolding method needs a matrix response detector help in ideal condition to correct measurement result. Matrix response is created in 2keV-100keV using diskrit spectrum simulation in monte carlo egsnrcMP program. Matrix response that made dissapeared the noise in spectrum measurement result in 40kV, 50kV, 70kV and 80kV x-ray voltage tube. But noise response which from lower energy matrix response is appear signivicanly in 20keV-30keV energy.

Key words : Diagnostic, CdTe detector, response matrix, x-ray spectra, Monte Carlo simulation, Heprow programe

xiii+53 pages : 11 pictures; 1 table

Bibliography : 17 (1989-2010)

## 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.....	xiii
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
1.5.1 Metode Kepustakaan.....	3
1.5.2 Simulasi.....	3
1.5.3 Pengukuran Spektrum .....	3
1.5.4 Analisis.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Pesawat Penghasil Sinar-X.....	6
2.1.1 Sinar-X karakteristik .....	7
2.1.2 Sinar-X Bremstrahlung .....	9
2.2 Interaksi Radiasi Terhadap Materi .....	12
2.2.1 Efek Fotolistrik.....	12
2.2.2 Efek Compton .....	13
2.3 Detektor CdTe .....	14
2.4 Unfolding.....	16
2.5 Program Heprow .....	18
2.5.1 Program UMSPHW .....	18
2.5.2 Program OPERAW .....	20

2.5.3	Program RSPGW .....	20
2.5.4	Program FALTW .....	21
2.5.5	Program GRAVELW .....	22
2.5.6	Program UNFANAW .....	22
2.5.7	Program MIEKEW .....	22
2.5.8	Program PLOFW dan PLOTAW .....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....		24
3.1	File Input .....	24
3.2	Fungsi Respon .....	24
3.3	Transformasi Data Simulasi .....	27
3.4	Proses Unfolding .....	27
3.5	Ploting Hasil .....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		29
4.1	Respon Detektor CdTe .....	29
4.2	Data Pengukuran .....	30
4.3	Hasil Koreksi Spektrum dengan Unfolding .....	35
4.3.1.	Membuat Fungsi Respon .....	36
4.3.2	Membuat File Input .....	36
BAB V PENUTUP .....		41
5.1	KESIMPULAN .....	41
5.2	SARAN & REKOMENDASI .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....		43
LAMPIRAN 1 DATA PENGUKURAN .....		45
1.1	Data Pengukuran 40 KeV .....	45
1.2	Data Pengukuran 50 KeV .....	46
1.3	Data Pengukuran 70 KeV .....	48
1.4	Data Pengukuran 80 KeV .....	50
Lampiran 2 File input Untuk Program Heprow .....		54
2.1	Program UMSPHW .....	54
2.2	Program GRAVELW .....	54

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Skema Pesawat Sinar-X .....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Peristiwa terjadinya sinar-X karakteristik .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Peroses terjadinya sinar-X Bremstrahlung .....	11
<b>Gambar 2. 4</b> Peristiwa efek Compton .....	13
<b>Gambar 2. 5</b> Skema detector dan interaksinya dengan sinar-X .....	17
<b>Gambar 3. 1</b> Pemodelan Simulasi .....	25
<b>Gambar 3. 2</b> Tampilan program EGSnrc .....	26
<b>Gambar 3. 3</b> Bagan Proses Unfolding .....	28
<b>Gambar 4. 1</b> Grafik respon Detektor CdTe terhadap sinar-X monoenergi .....	30
<b>Gambar 4. 2</b> (a) grafik spektrum sinar-x terhadap channel. (b – e ) grafik spektrum sinar-X terhadap energy. ....	33
<b>Gambar 4. 3</b> Interaksi Radiasi di Dalam Detektor .....	35
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik energy sianr-X terhadap fluence. (a) 40 KeV, (b) 50 KeV, (c) 70 KeV, (d) 80 KeV.....	38

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Spesifikasi Detektor CdTe .....	16
-------------------	---------------------------------	----



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen seorang berkebangsaan Jerman pada tahun 1895. Penemuanya diilhami dari hasil percobaan percobaan sebelumnya antara lain dari J.J Thomson mengenai tabung katoda dan Heinrich Hertz tentang foto listrik. Kedua percobaan tersebut mengamati sebuah electron yang keluar dari katode menuju anode yang berada dalam tabung kaca hampa udara. Pembangkit sinar-X berupa tabung hampa udara yang di dalamnya terdapat filament yang juga sebagai katoda dan terdapat komponen anoda. Jika filamen dipanaskan maka akan keluar elektron dan apabila antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi, elektron akan dipercepat menuju ke anoda. Dengan percepatan elektron tersebut maka akan terjadi tumbukan tak lenting sempurna antara elektron dengan anoda, akibatnya terjadi pancaran radiasi sinar-X.

Sejak penemuan hingga saat ini, sinar-X telah banyak dimanfaatkan oleh manusia di berbagai bidang dalam aspek kehidupannya. Pemanfaatan ini meliputi bidang ilmu pengetahuan, kesehatan, dan teknologi. Bidang kesehatan merupakan bidang yang paling banyak mengaplikasikan sinar-X. Aplikasi ini sangat beragam, mulai dari diagnostic sampai pada radioterapi.

Penggunaan sinar-X dalam bidang diagnostic dapat dilakukan dengan menggunakan detector CdTe. Sebelum menggunakan sinar-X untuk tujuan tertentu seperti kalibrasi detektor, kita harus mengetahui bentuk x-ray yang dihasilkan. Spectrum x-ray yang tertangkap oleh detector harus dikoreksi untuk mengetahui spectrum sesungguhnya di udara.

Dalam penelitian kali ini, kami akan mencoba membuat sebuah data base untuk perhitungan koreksi spectrum selama radiasi mengenai detector sehingga diperoleh spectrum di udara. Program perhitungan ini akan di-include-kan dalam perhitungan selanjutnya sehingga hasil pembacaan

spectrum di detector memperlihatkan spectrum sebenarnya, spectrum yang ada di udara.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diamati adalah mengetahui/estimasi spectrum x-ray di udara ketika radiasi x-ray mengenai detector CdTe dalam eksperimen. Untuk mengetahui spectrum di udara ini, kami akan membandingkannya dengan spectrum sinar-X yang ada pada teori. Setelah mengetahui seberapa besar noise-nya, kami membuat program untuk membuangnya.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Permasalahan ini akan kami batasi pada besarnya noise yang terjadi selama pengukuran radiasi sinar-X. detector yang kami gunakan adalah detector CdTe dari AMPTEK dan untuk membuang noise-nya kami menggunakan program Heprow sytem.

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Pada penelitian kali ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mempelajari program Heprow sytem.
2. Menggunakan program Heprow untuk mengoreksi dan meningkatkan ketelitian hasil pengukuran spectrum sinar-X.

## **1.5 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang kami lakukan terdiri dari beberapa tahapan, diantaranya adalah:

### **1.5.1 Metode Kepustakaan**

Metode kepustakaan adalah studi literatur 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.

### **1.5.2 Simulasi**

Simulasi dilakukan menggunakan metode monte carlo untuk mengetahui respon detector CdTe terhadap berkas sinar-x. Data pengukuran respon tersebut akan dijadikan sebagai data base untuk mengoreksi spectrum hasil pengukuran. Jika dengan data ini program bisa diaplikasikan, maka program dinyatakan berhasil dan dapat dilanjutkan dengan pengukuran spectrum baru dengan detector yang ada.

### **1.5.3 Pengukuran Spektrum**

Eksperimen secara langsung untuk mengukur spectrum sinar-X dengan menggunakan detector CdTe.



#### **1.5.4 Analisis**

Analisis merupakan kajian dan pembahasan lebih dalam dari apa yang telah kami dapat dari eksperimen dan pengolahan data dengan program. Pada tahap ini, hasil yang telah kami dapat akan kami bandingkan dengan apa yang ada pada teori dasar. Dengan melihat beberapa factor penghambat dan juga melihat berapa standar deviasi, kami akan menyimpulkan hasilnya.

#### **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 penulisan.

##### **BAB II LANDASAN TEORI**

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

##### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

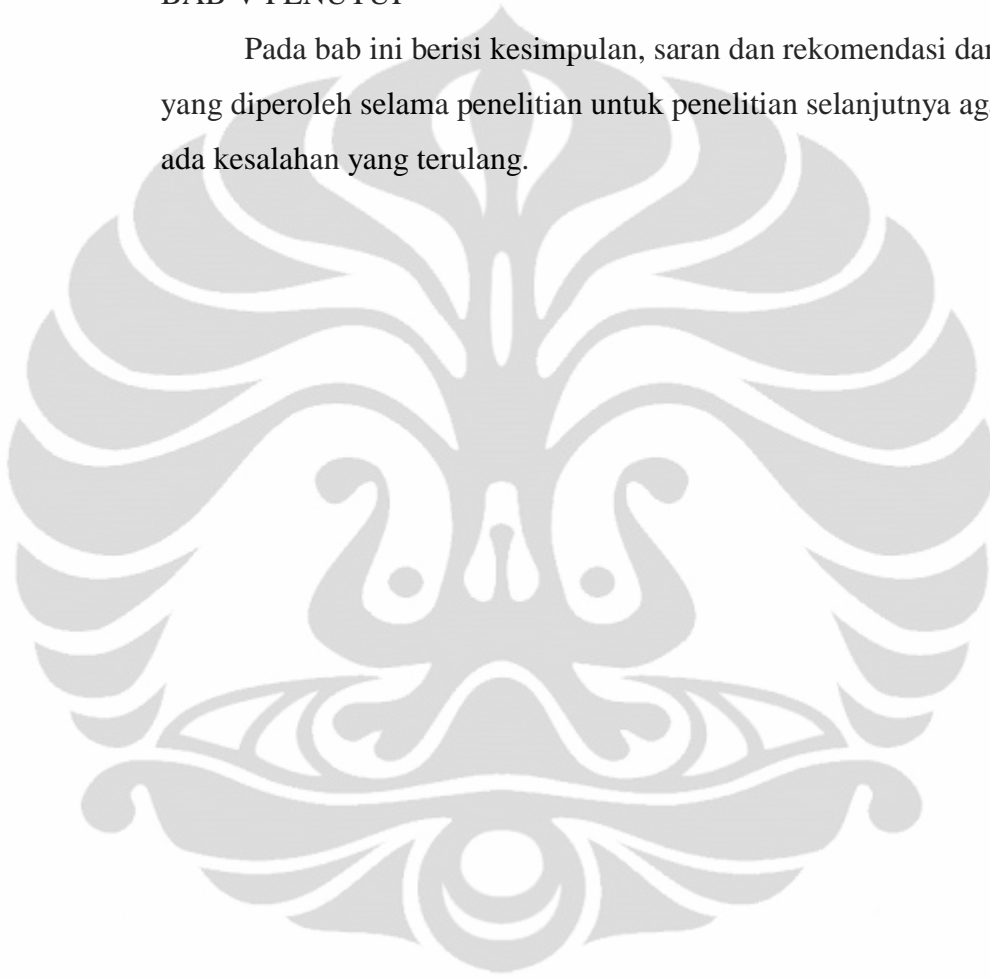
Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana langkah – langkah dalam pelaksanaan simulasi, eksperimen dan pengambilan data sampai dengan proses perolehan hasil.

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

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

#### BAB V PENUTUP

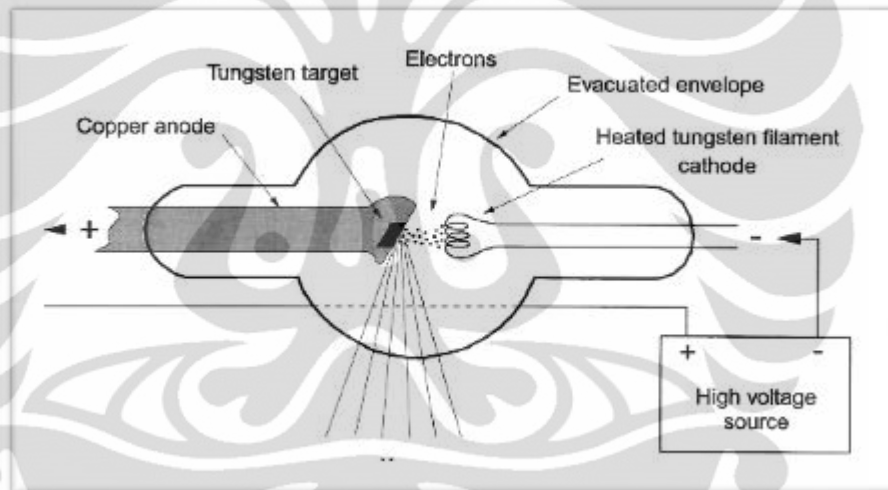
Pada bab ini berisi kesimpulan, saran dan rekomendasi dari penulis yang diperoleh selama penelitian untuk penelitian selanjutnya agar tidak ada kesalahan yang terulang.



## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Pesawat Penghasil Sinar-X

Seperti yang kita ketahui bahwa sinar-X adalah suatu radiasi sinar yang memiliki daya tembus – terhadap materi – besar yang ditemukan oleh William Roentgen tahun 1895.<sup>4</sup> Dengan pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan, hingga saat ini telah ditemukan banyak cara untuk menimbulkan sinar-x.



**Gambar 2. 1** Skema Pesawat Sinar-X [sumber: Fauzi, A. 2010]

Pada dasarnya pesawat sinar-X terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, sumber tegangan listrik tinggi yang akan memberikan tegangan listrik pada kedua elektrode dalam tabung sinar-X, dan unit pengatur. bagian pesawat sinar-X yang menjadi sumber radiasi pada tabung sinar-X. Didalam tabung pesawat sinar-X yang biasanya terbuat dari bahan gelas terdapat filamen yang bertindak sebagai katode dan target yang bertindak sebagai anode. Tabung pesawat sinar-X dibuat hampa udara agar elektron yang berasal dari

filamen tidak terhalang oleh molekul udara dalam perjalanannya menuju ke anode. 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. Elektron yang dibebaskan oleh filamen tertarik ke anode oleh adanya beda potensial yang besar atau tegangan tinggi antara katode dan anode yang diakibatkan oleh unit sumber tegangan tinggi (potensial katode beberapa puluh hingga beberapa ratus kV atau MV lebih rendah dibandingkan potensial anode), elektron ini menabrak bahan target yang umumnya bernomor atom dan bertitik cair tinggi (misalnya tungsten) dan terjadilah proses sinar-X.<sup>4,5</sup> Sekilas pembentukan sinar-X terlihat sederhana, akan tetapi pada peristiwa tumbukan electron dengan target tungsten terjadi beberapa peristiwa yang menimbulkan sinar-X ini diantaranya adalah sebagai berikut:

### 2.1.1 Sinar-X karakteristik

Sinar-X karakteristik adalah sinar-X yang dihasilkan dari proses transisi electron dari kulit lebih luar ke kulit yang lebih dalam. Berdasarkan teori atom Neils Bohr, setiap electron mengelilingi inti dengan tingkatan energy tertentu. Energy ini bergantung pada kulit berapa electron tersebut melintas. Nilai energy ini dapat dinyatakan dalam sebuah persamaan sebagai berikut [sumber: *Tipler, P. 1991*]:

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} \quad (2.1)$$

Dimana :

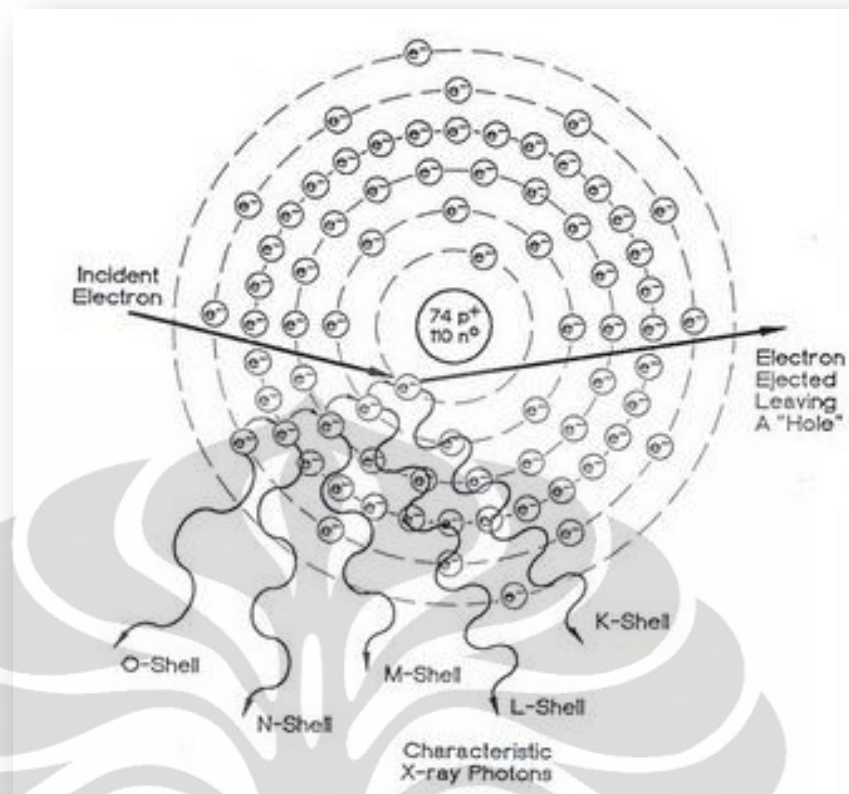
$E_n$  = energy electron pada lintasan kulit n

n = kulit ke-n

dengan persamaan diatas, setiap electron memungkinkan akan berpindah lintasan ke kulit tertentu jika electron ini

**Universitas Indonesia**

memiliki cukup energy yang sesuai pada tingkatan energy pada kulit tersebut. Dalam teori atom lintasan-lintasan electron biasanya ditandai agar lebih mudah mengingatnya. Kulit pertama biasanya di namai dengan kulit-K, kulit kedua dengan kulit-L dan seterusnya. Setiap lintasan ini terdapat electron yang mengelilingi inti. Apabila ada suatu radiasi yang mengenai atom ini, electron-elektron yang telah menerima energy tertentu dan memenuhi syarat untuk menempati lintasan yang lebih tinggi, maka electron ini akan tereksitasi ke kulit tersebut. Sebaliknya terhadap electron yang tidak mendapat energy luar dia akan tetap berada pada kulit tersebut dan jika pada kulit dengan energy lebih rendah darinya keluar lintasan dan terdapat lubang (hole), dia akan bertransisi untuk mengisi kekosongan (hole) tersebut. Konsekuensinya akan ada perbedaan energy antara sebelum dan sesudah transisi sebesar  $\Delta E$  yang akan di emisikan (dilepas) dalam bentuk sinar-X. sinar-X inilah yang dinamakan sinar-X karakteristik. Perhatikan gambar dibawah.



**Gambar 2.2** Peristiwa terjadinya sinar-X karakteristik  
[sumber:gudangmateri.com]

### 2.1.2 Sinar-X Bremstrahlung

Sinar-X bremstrahlung adalah sinar-X yang terjadi akibat dari perlambatan dari sebuah partikel bermuatan yang sedang bergerak. Salah satu contoh dari peristiwa ini adalah ketika sebuah elektron bergerak melintasi sebuah atom, karena elektron bermuatan negative, dan inti atom bermuatan positif maka akan timbul interaksi antara keduanya dengan interaksi gaya coulomb yang saling tarik-menarik. Dengan adanya Gaya coulomb ini elektron yang sedang bergerak tiba-tiba ditarik mendekati inti, akibatnya elektron tersebut akan berbelok dan mengalami perlambatan. Selama perlambatan ini, elektron akan kehilangan sebagian energy kinetiknya. Energy yang hilang

ini akan berubah menjadi energy foton yang dinamakan dengan sinar-X.

Sebagai contoh, kita bisa menentukan berapa besar energy foton yang dapat diemisikan oleh sebuah electron yang sedang bergerak pada jarak  $1 \mu\text{m}$  dari inti atom hidrogen dengan kecepatan  $1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$  dan electron dapat melewati inti atom dalam waktu  $2 \text{ ns}$ . Asumsikan bahwa muatan proton sama dengan muatan electron, maka kita dapat menentukan berapa besar gaya yang mempengaruhi electron tersebut dengan persamaan hukum coulomb sebagai berikut [sumber: *Tipler, P. (1991)*]:

$$F_c = k \frac{e^2}{r^2} \quad (2.2)$$

$$F_c = \frac{9 \cdot 10^9 (1,6 \times 10^{-19})^2}{(1 \times 10^{-6})^2}$$

$$F_c = 23,04 \times 10^{-17} \text{ C}$$

dari sini kita bisa menentukan berapa besar perlambatan electron yang terjadi dengan menggunakan persamaan hukum Newton sebagai berikut [sumber: *Tipler, P. 1991*]:

$$a = \frac{F_c}{m_e} \quad (2.3)$$

$$a = \frac{23,04 \times 10^{-17} \text{ C}}{9,11 \times 10^{-31}}$$

$$a = 2,53 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$$

dengan demikian, kita bisa menentukan selisih energy dengan melihat perbedaan kecepatan sebelum dan sesudah melewati inti [sumber: *Tipler, P. 1991*]:

$$v_t = v_0 - at \quad (2.4)$$

$$v_t = 10^6 - 2,53 \times 10^{14} \times 2 \cdot 10^{-9}$$

$$v_t = 4,94 \times 10^5 \text{ m/s}$$

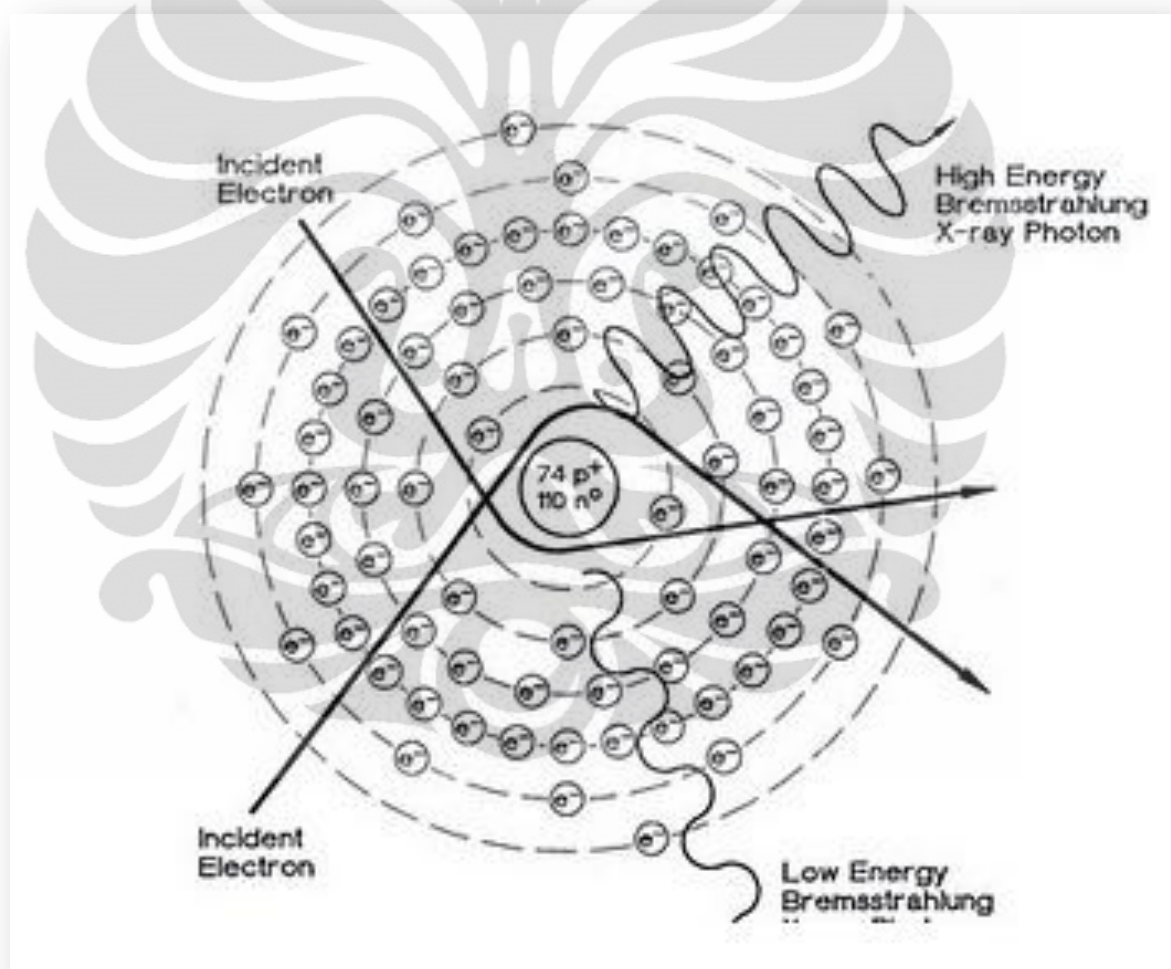
kemudian kita tentukan energy foton melalui persamaan sebagai berikut [sumber: *Tipler, P. 1991*]:

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} m \Delta v^2 \quad (2.5)$$

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

$$\Delta E \approx -3,4 \times 10^{-26} \text{joule}$$

Tanda negative menandakan bahwa electron mengemisikan foton seperti tampak pada gambar berikut



**Gambar 2.3** Proses terjadinya sinar-X Bremsstrahlung  
[sumber: gudangmateri.com, 2011]



## 2.2 Interaksi Radiasi Terhadap Materi

### 2.2.1 Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah suatu peristiwa dimana keluarnya electron dari lintasannya yang diakibatkan oleh adanya tumbukan oleh radiasi cahaya (foton). Akibat dari tumbukan, electron ini keluar dari lintasannya, maka electron ini menjadi electron bebas dan menjadi arus listrik. Electron ini dinamakan dengan electron foto dan arus yang terjadi adalah arus foto.

Pada lintasannya di kulit atom, electron memiliki energy ikat yang membuatnya tetap berada pada lintasannya. Ketika sebuah radiasi foton mengenai electron ini, maka seluruh energy radiasi ini akan diserap oleh electron. 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  $E_k$  [sumber:Tipler, P. 1999].

$$E_f = W_0 + E_k \quad (2.6)$$

$$hf = hf_0 + \frac{1}{2}m_e v^2 \quad (2.7)$$

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

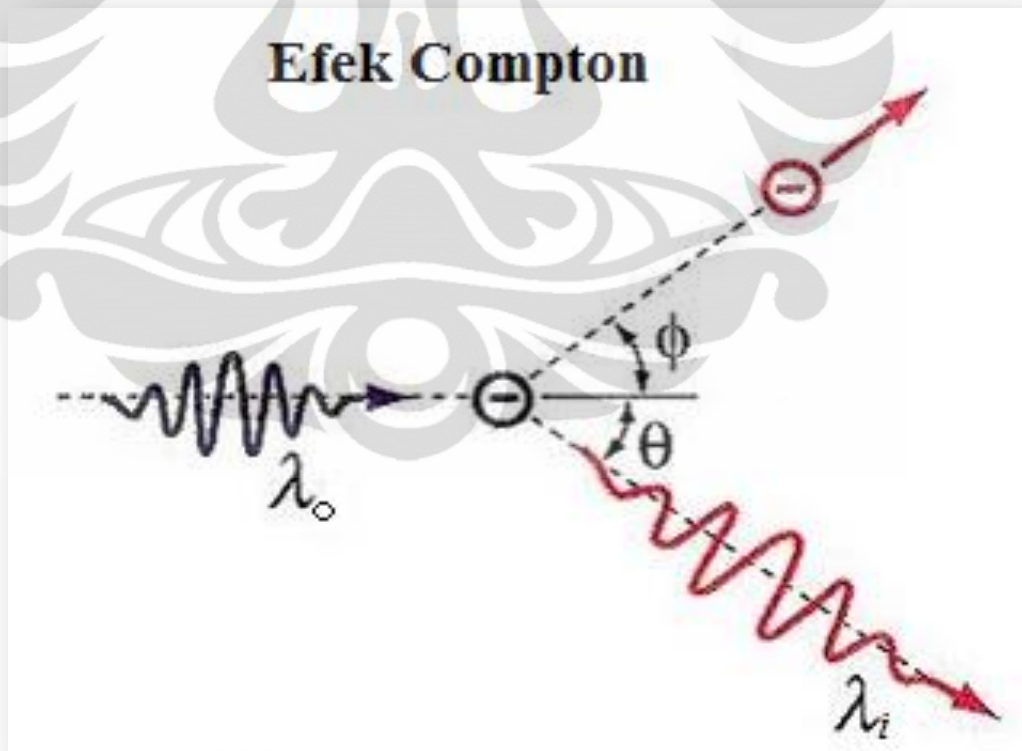
$m_e$  = Massa electron

$v$  = Kecepatan gerak electron

### 2.2.2 Efek Compton

Efek Compton adalah salah satu interaksi radiasi dengan materi. Interaksi ini menghasilkan spectrum radiasi (sinar-X) dengan panjang gelombang tertentu bergantung pada seberapa besar radiasi yang datang, dan seberapa besar energy ikat electron yang berinteraksi dengannya.

Apabila sebuah radiasi sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda_0$  berinteraksi dengan electron terluar sebuah atom, maka sebagian energy radiasi ini akan terserap oleh electron untuk keluar dari lintasannya dan sebagian besar energy radiasi ini akan dihamburkan dalam bentuk sinar-X dengan panjang gelombang  $\lambda_i$  yang lebih besar dari panjang gelombang awalnya. Perhatikan gambar berikut.



**Gambar 2. 4** Peristiwa efek Compton [sumber:indonesiaindonesia.com, 2011]

dari peristiwa interaksi ini berlaku hukum kekekalan energy dan momentum seperti berikut ini [sumber: Tipler, P 1991]:

$$E_{awal} = E_{akhir} \quad (2.8)$$

$$P_{awal} = P_{akhir} \quad (2.9)$$

dengan memperhatikan konsep foton, maka dapat ditentukan selisih panjang gelombang radiasi yang datang dengan panjang gelombang radiasi terhambur sebagai berikut [sumber: Tipler, P. 1991]:

$$\lambda_i - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta) \quad (2.10)$$

Dimana

- $\lambda_i$  = Panjang gelombang hamburan
- $\lambda_0$  = Panjang gelombang radiasi awal
- $h$  = Konstanta Plank
- $m_e$  = Massa elektron
- $c$  = Kecepatan cahaya
- $\theta$  = Sudut hamburan

### 2.3 Detektor CdTe

Detector CdTe merupakan detector semikonduktor yang memiliki keunggulan pada efisiensi dan resolusi tinggi dibandingkan dengan detector lain. Sinar-X & sinar gamma yang berinteraksi dengan atom CdTe untuk membuat pasangan elektron / lubang rata-rata akan kehilangan energi sebesar 4,43 eV dalam CdTe. Bergantung pada energi dari radiasi yang masuk, kehilangan energi ini didominasi oleh salah satu efek fotolistrik atau hamburan Compton. Probabilitas atau efisiensi detektor untuk "menghentikan" radiasi yang masuk dan membuat pasangan elektron lubang / meningkat dengan ketebalan CdTe.

Detector ini menggunakan sumber tegangan diatas 500 Volt yang dapat menyebabkan temperature meningkat dan arus leakage yang berlebihan dan akhirnya breakdown. Oleh karena itu detector menggunakan system pendingin, yang dapat mengurangi arus leakage sehingga memungkinkan tegangan bias yang tinggi. Pendingin

termoelektrik mendinginkan kedua detektor CdTe dan FET transistor input menjadi preamplifier muatan yang sensitif. Pendingin FET mengurangi arus leakage dan meningkatkan transkonduktansi, yang pada akhirnya akan mengurangi noise elektronik dari system.

Untuk lebih bisa mengurangi noise elektronik, feedback kapasitor dan sebagian rangkaian arus feedback pada preamplifier ditempatkan pada tempat yang sama dengan detector FET yang akan meminimalkan kapasitansi parasite pada input.

Sebuah sensor pemantauan suhu ditempatkan pada substrat didinginkan untuk memberikan pembacaan langsung dari suhu komponen internal, yang akan bervariasi dengan suhu kamar. Setelah mendapat suhu di bawah minus  $10^{\circ}\text{C}$  kinerja XR-100T-CdTe tidak akan berubah dengan variasi suhu beberapa derajat. Oleh karena itu, pengendalian suhu akurat tidak diperlukan bila menggunakan XR-100T-CdTe di dalam laboratorium.

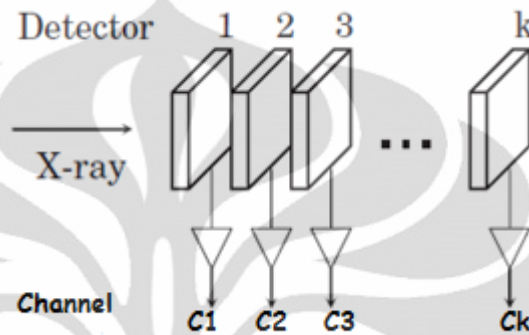
<b>General</b>	
Detector type	Cadmium Telluride (CdTe) Diode
Detector areas	3 x 3 mm (9 mm <sup>2</sup> ), 5 x 5 mm (25 mm <sup>2</sup> )
Detector thickness	1 mm, <a href="#">click here for efficiency curves</a>
Energy resolution @ 122 keV, <sup>57</sup> Co	9 mm <sup>2</sup> : <1.2 keV FWHM, typical 25 mm <sup>2</sup> : <1.5 keV FWHM, typical
Dark counts	<5 x 10 <sup>-3</sup> counts/sec @ 10 keV < E < 1 MeV
Detector window	Be, 4 mil thick (100 μm), <a href="#">click here for transmission curves</a>
Preamplifier	Charge Sensitive, with Current Divider Feedback
<a href="#">Case Size</a>	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
<b>Inputs</b>	
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 CdTe [*sumber: amptek Inc, 2011*]

## 2.4 Unfolding

Unfolding adalah sebuah proses pengukuran fluensi spectrum partikel dimana hasil pengukuran spectrum yang terbaca pada detector dapat dikoreksi fluktuasi noise-noise-nya. Koreksi ini dilakukan dengan menggunakan algoritme matematik yang dijalankan dengan program computer. Proses unfolding secara teoritik dan konsep sebagai berikut. Radiasi yang sampai ke detector akan berinteraksi dengan segmen-segmen

detector yang disebut dengan channel. Radiasi sinar-X dengan energy rendah cenderung diserap oleh detector yang lebih depan dan sebaliknya, radiasi sinar-X dengan energy lebih tinggi cenderung diserap oleh segmen detector yang lebih belakang.



**Gambar 2.5** Skema detector dan interaksinya dengan sinar-X [sumber: *Morales, M., Bonafacio, D., & et, al. 2007*]

hubungan arus yang terjadi dengan jumlah radiasi yang berinteraksi dengan detector dapat dinyatakan sebagai berikut [*Makoto, H., Masahiko, O., & et, al 2009*]

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{1,1} & R_{1,2} & \cdots & R_{1,n} \\ R_{2,1} & R_{2,2} & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & \\ R_{k,1} & \cdots & & R_{k,n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} \quad (2.11)$$

$I_i$  adalah arus yang terjadi pada channel ke- $i$  dari detector,  $R_{k,n}$  adalah fungsi respon detector untuk radiasi sinar-X dengan energy  $E_n$ .  $Y_n$  adalah kejadian sinar-X yang menumbuk detector dengan energy  $E_n$ . Masing-masing  $R_{k,n}$  ini akan diproses lebih lanjut dengan algoritme computer yang telah tersedia pada paket program hepro.

## 2.5 Program Heprow

Untuk dapat mengoreksi spectrum yang terukur selama pengukuran, digunakan program berbasis computer. Dalam tulisan ini saya akan menggunakan program Heprow yang tersedia dalam paket program Heprow system. Semua program dari paket HEPROW berjalan di kotak DOS dan dapat digunakan dengan berkas masukan sebagai argumen baris perintah, misalnya ketikan GRAVELW.inp berarti bahwa program GRAVELW dimulai dan impor data input dari file gravelw.inp. Bila nama file input tidak diberikan dalam baris perintah, program meminta input terminal (input interaktif). Dalam kasus-kasus dimana struktur dari file input tidak cukup jelas bagi pengguna, maka Disarankan untuk menggunakan program tanpa berkas masukan sebagai argumen baris perintah. Banyak informasi tambahan ini kemudian ditampilkan di layar. Semua program menulis sebuah file protokol, nama yang dibaca dari baris pertama file masukan yang berkaitan. Tidak ada aturan ketat untuk nama-nama file, penulis lebih suka menggunakan ekstensi \*. LOG untuk file protokol dan ekstensi \*. FLU untuk file fluence.

Hampir semua kode menghasilkan file dengan data grafis, nama yang sama dengan protokol file tapi memiliki ekstensi \*. PLO. Grafis dapat ditampilkan setelah program yang dijalankan dengan menggunakan program PLOTAW (just typing PLOTAW xxxxx.PLO). Ekstensi \*. MTX digunakan untuk matriks kovarians fluence di MIEKEW program, ekstensi \*. PCR digunakan untuk kovarians matriks ketinggian-pulsa spektrum yang diciptakan oleh program FALTW.

### 2.5.1 Program UMSPHW

Program UMSPHW mengubah spektrum pulsa ketinggian yang terukur menjadi format dalam struktur dari paket HEPRO. Struktur spektrum tinggi pulsa diharapkan sebagai berikut:

Sejumlah baris tertentu yang akan dilewatkan saat membaca (iterasi) diikuti oleh satu set formatfree diberikan pulsa-nilai ketinggian (pemisah antara nilai: kosong, atau koma, atau titik koma). Hal ini diasumsikan bahwa statistik poisson ditahan, yaitu ketidakpastian standar ditugaskan untuk isi satu saluran didefinisikan sebagai akar kuadrat dari jumlah cacahan. Diasumsikan bahwa tidak ada korelasi antara saluran yang berbeda. Untuk file output energi harus ditetapkan untuk setiap channel, energi ini (atau kuantitas yang lain, yang merupakan jumlah yang sama (dibersihkan) seperti yang digunakan untuk fungsi respon) dianggap berkaitan dengan batas sisi kiri channel.

Penentuan ini ditentukan oleh persamaan [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$EL(I) = (I-1-XI0) * EKA-Q \quad (2.12)$$

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  $EL(I+1) = EL(I)+EKA$ . (2.13)

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

Q = 0.0 biasanya digunakan. Untuk 3-He di file PTB ada nilai Q = 0,764 digunakan untuk perbandingan yang lebih baik antara skala neutron dan proton.

Sebagai contoh (dengan Q = 0.0)

1. Jika nilai nol energi pada channel pertama di 0,66,  $XI0 = 0,66$  harus digunakan, dan channel pertama dicapai dari [sumber: *Matzke, M. 2004*]



$$EL(1) = -0.66 * EKA \text{ to } EL(1) + EKA = -0.66 * EKA + EKA = 0.34 * EKA \quad (2.14)$$

2. Jika nilai nol energi pada channel ke-3 di 2,44,  $XI0 = 2,44$  harus digunakan, dan channel ke-3 dicapai dari [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$(2 - 2.44) * EKA = -0.44 * EKA \text{ to } -0.44 * EKA + EKA = 0.56 * EKA \quad (2.15)$$

Bila tidak menggunakan file input sebagai argumen baris perintah, "file" CON digunakan sebagai default, yang berarti bahwa pengguna diminta oleh program untuk mengetikkan data input.

### 2.5.2 Program OPERAW

Program kombinasi dua data file HEPRO dan perkalian / pembagian dengan nomor. Untuk kombinasi dua file, kedua file harus memiliki struktur energy yang sama, tetapi mungkin berbeda pada parameter MODE. File-file tersebut dikonversi ke MODE parameter file pertama. Program ini dapat digunakan juga untuk perkalian atau pembagian konten satu data file.

### 2.5.3 Program RSPGW

Program RSPGW untuk tujuan sebagai berikut:

1. Untuk menjalankan rebinning dari metrik 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 [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$R_{iv} = \delta_{iv} \quad (2.16)$$

3. Membentuk respon matriks Gaussian [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$R_{iv} = G_{iv} = \frac{\Delta E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma(E_v)} \exp\left(-\frac{(E_v - E_i)^2}{2\sigma(E_v)^2}\right) \quad (2.17)$$

4. Membuat perluasan respon matriks Gaussian [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$R_{iv} = G_{iv} = \frac{\Delta E_i}{\sqrt{2\pi}\sigma(E_v)} \exp\left(-\frac{(E_v - E_i)^2}{2\sigma(E_v)^2}\right) \cdot R_{ideal,kv} \quad (2.18)$$

Lebar Gaussian  $\sigma$  adalah polynomial pangkat dua. Struktur dari file input yang berbeda untuk tugas yang berbeda. Lebih jelas lihat referensi. 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).

#### 2.5.4 Program FALTW

Program ini melakukan pelipatan “folding” file spektrum fluence dengan respon matriks menurut persamaan [sumber: *Matzke, M. 2004*]

$$Z_i = \sum_v R_{iv} \cdot \Phi_v ; \text{ dengan } i = 1 \dots M \quad (2.19)$$

Dimana  $Z_i$  merepresentasikan dari jumlah cacahan dalam perhitungan spectrum tinggi pulsa, yang dapat dibandingkan dengan spectrum tinggi pulsa terukur  $Z_{i0}$ . Jika ada spectrum tinggi pulsa terukur tersedia bersama-sama dengan fluence spektrum, program FALTW juga menghitung perbedaan spectrum tinggi pulsa.

### 2.5.5 Program GRAVELW

Untuk memperkenalkan fluence kondisi positif kedalam prosedur unfolding, algoritma yang mirip dengan yang diperkenalkan di SAND-II dapat diaplikasikan. Dalam hal ini bukan nilai fluence kelompok  $\Phi_v$  tapi logaritme  $\ln(\Phi_v)$  ditentukan oleh prosedur iterasi khusus. Kode SAND-II yang asli dirancang untuk penentuan waktu paruh dan kemudian digunakan untuk reactor dosimetri multi foil. Kode baru yang disebut GRAVEL (sekarang GRAVELW) telah ditulis dan berhasil diterapkan dalam unfolding “few-channel” dan juga “multichannel”.

Untuk prosedur iterasi (perhitungan) kode GRAVEL, pertama spectrum input dibutuhkan ketika memulai iterasi (perhitungan). Solusi selalu ada, tetapi solusi spektrum bergantung pada spektrum input ini yang tidak cukup transparan sehingga propagasi ketidakpastian tidak dapat dengan mudah dilakukan.

Program GRAVELW perlu file input, dimana semua data relevan terdaftar. Input yang berbeda untuk tugas yang berbeda. Pengguna dapat membangun file input secara interaktif dengan menjalankan program tanpa nama file sebagai argument baris perintah.

### 2.5.6 Program UNFANAW

Program UNFANAW menggunakan kode maksimum entropi untuk proses unfolding. Program ini membutuhkan file input dengan ekstensi \*.ASC. File ini dapat dibentuk/dibuat dengan menjalankan program GRAVELW.

### 2.5.7 Program MIEKEW

Program MIEKEW memiliki kesamaan dengan program UNFANAW yaitu pada kodenya menggunakan maksimum entropi untuk proses unfolding dan menggunakan file input dengan ekstensi

.\*ASC, hanya saja ada sedikit perbedaannya yaitu pada penyebaran ketidakpastian yang dilakukan yang biasa diistilahkan dengan ambiguitas.

### **2.5.8 Program PLOFW dan PLOTAW**

Semua program yang dijalankan akan menghasilkan file output masing-masing dimana file-file ini ada yang digunakan lagi untuk program lain dan ada juga yang secara langsung dapat dilihat hasil yang diinginkannya. Untuk melihat hasil spectrum yang ter-unfolding, sebuah grafik dibutuhkan. Program PLOFW dan PLOTAW adalah dua program yang terintegrasi dalam paket hepro system untuk membuat grafik tersebut.

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

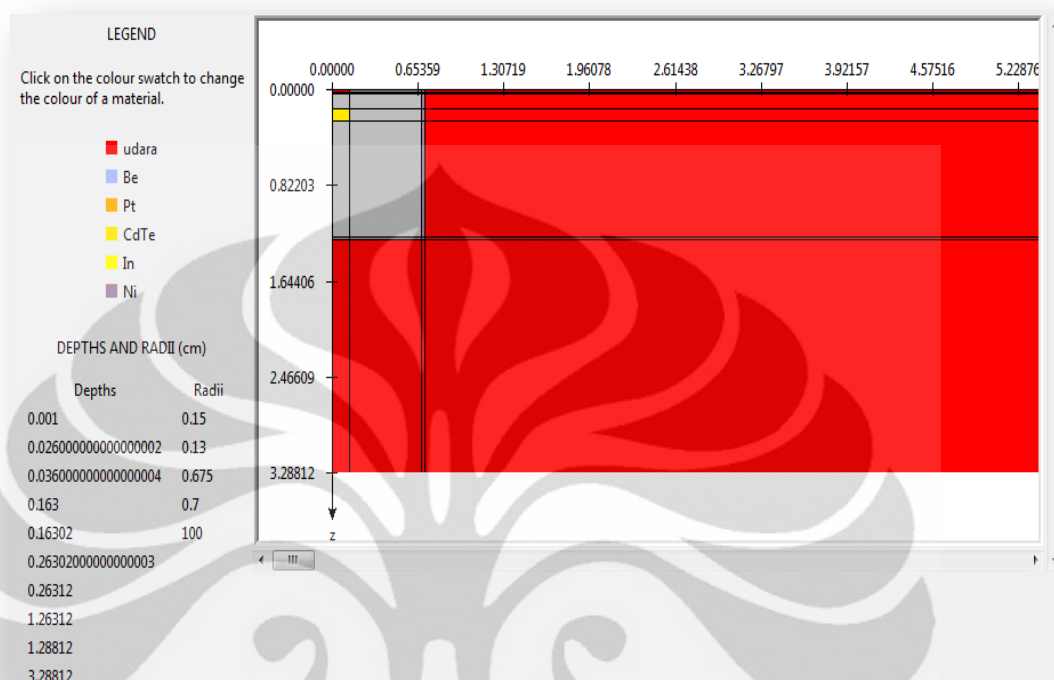
#### **3.1 File Input**

Semua program Heprow yang telah dijelaskan diatas membutuhkan file input yang bisa diperoleh dari pengukuran langsung atau dengan simulasi computer. Dalam skripsi ini, penulis menggunakan file input yang diperoleh dari pengukuran langsung yang dilakukan oleh penulis skripsi sebelumnya tentang pengukuran spektrum sinar-X. data pengukuran spektrum sinar-X yang penulis gunakan di sini adalah spektrum sinar-X dengan energy 40KeV, 50 KeV, 70 KV dan 80 KeV.

#### **3.2 Fungsi Respon**

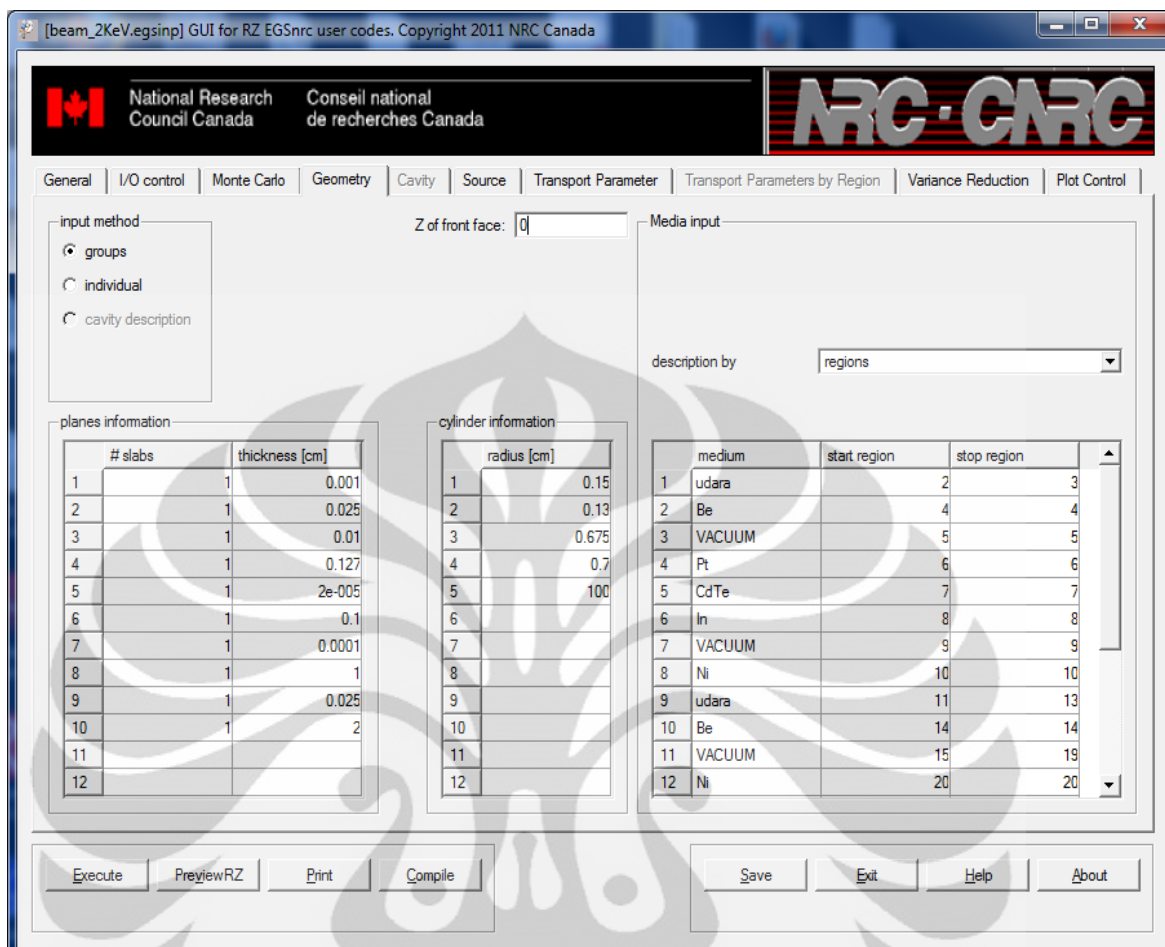
Tahapan selanjutnya setelah data simulasi telah didapat adalah menentukan fungsi respon dari detector. Fungsi respon ini menggambarkan seberapa besar kemampuan detector untuk merespon radiasi yang datang pada setiap segmen-segmennya, dengan kata lain fungsi respon adalah tingkat responsif tiap segmen detector untuk menyerap radiasi yang datang. Tiap segmen detector akan memiliki respon masing-masing dan kumpulan respon ini akan disusun menjadi satu yang dinamakan dengan metriks respon yang selanjutnya digunakan untuk melakukan proses unfolding. Pada skripsi ini penulis membangun file respon matrik dengan bantuan simulasi program EGSnrc. File respon ini penulis bangun dengan mensimulasikan radiasi sinar-X monoenergi yang mengenai detector CdTe dengan variasi energy sebesar 1 KeV pada range 2 – 100 KeV. Langkah – langkah dalam membuat respon matriks adalah sebagai berikut: Pertama – tama adalah Pemodelan simulasi yang dapat dilakukan dengan bantuan program EGS\_gui yang terdapat dalam paket EGSnrc. Dalam proses ini semua spesifikasi dan material detector serta

medium pengukuran ditentukan. Model Simulasi yang telah dibangun tampak pada gambar dibawah.



**Gambar 3. 1** Pemodelan Simulasi

Setelah model ini dibuat, selanjutnya adalah memasukan data ini ke dalam program EGSnrc sebagai file inputnya. Selanjutnya adalah mensimulasikannya dalam program EGSnrc untuk menentukan data respon detector untuk tiap monoenergi yang diberikan. Tampilan program EGSnrc seperti gambar dibawah ini:



**Gambar 3. 2** Tampilan program EGSnrc

Pada gambar di atas, medium simulasi bervariasi dengan detector CdTe berada pada start region 7. Parameter simulasi pada program ini selain material detector diatas, history Monte Carlo sebesar 108. Setelah selesai mensimulasikan, data hasil simulasi ini kemudian disusun menjadi respon matriks berdasarkan struktur (ASCII) sebagai berikut:

Catatan pertama :  $EKA$  : FORMAT\*i.e bebas

Dimana  $EKA$  adalah lebar energy (energy radiasi)

Catatan kedua :  $En, IH, E(1), E(IH+1)$  : FORMAT\* i.e bebas

Dimana  $En$  adalah parameter energy partikel yang mengenai detector.  $IH$  adalah jumlah channel fungsi respon detector pada energy  $En$ ,

**Universitas Indonesia**

$E(1)$  dan  $E(IH+1)$  adalah batasan awal sebelah kiri dan batasan sebelah kanan, dimana  $E(1) = 0$  (dalam semua kasus) dan  $E(IH+1) = EKA * IH$ .

Catatan ketiga :

Fungsi respon untuk  $E_n$ , i.e nilai  $IH$  dari  $R_{k_v}$  untuk  $k=1 \dots IH$  (format bebas)  $R_{k_v}$  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:  $R_{k_{v+1}}$ , ( $K=1 \dots IH$ )

Dua catatan struktur ini ditulis berulang untuk energy-energy photon. Energy photon 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.

### 3.3 Transformasi Data Simulasi

Untuk bisa menggunakan program Heprow, maka semua data hasil pengukuran dan simulasi harus diubah kedalam file format yang akan menjadi file input. Untuk mengubah data pengukuran ini ke dalam file format Heprow digunakan program UMSPHW dan data simulasi dengan RSPGW dari paket Heprow system untuk membuat file fungsi respon dari detektor.

### 3.4 Proses Unfolding

Proses Unfolding pada tahapan selanjutnya adalah membentuk file yang bisa digunakan dalam proses tersebut. File unfolding ini

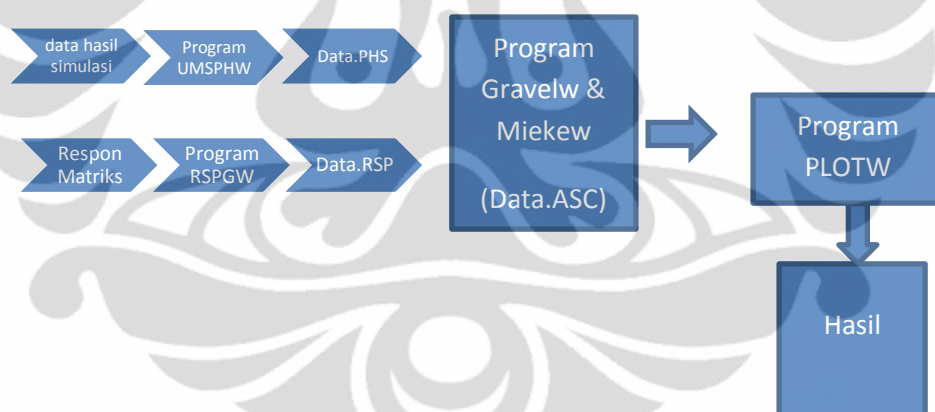


berekstension \*.ASC yang dapat diperoleh dengan menjalankan program GRAVELW dengan file input respon matriks dan file pengukuran (simulasi) yang telah ditransformasi kedalam file Heprow system.

### 3.5 Ploting Hasil

Setelah semua program tersebut telah dijalankan – yang terakhir – program GRAVELW untuk proses unfolding, maka output dari program tersebut akan menghasilkan file dengan ekstensi \*.PLO yang dapat diplot menjadi sebuah grafik. Untuk membuat grafik dari file ini digunakan program PLOFW dari paket Heprow system.

Secara garis besar metode unfolding dalam skripsi ini dapat dilihat dalam bagan dibawah ini.

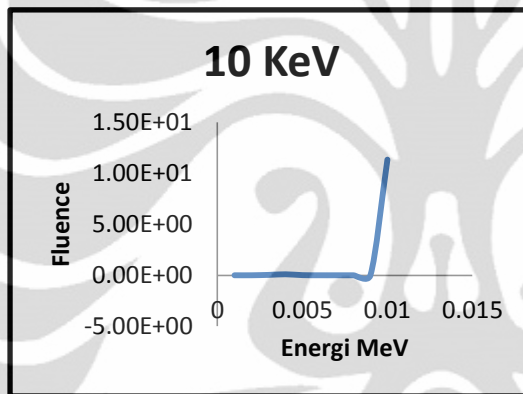


**Gambar 3.3** Bagan Proses Unfoldin

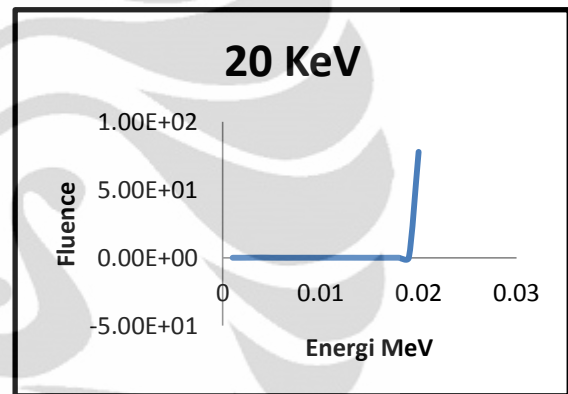
## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Respon Detektor CdTe

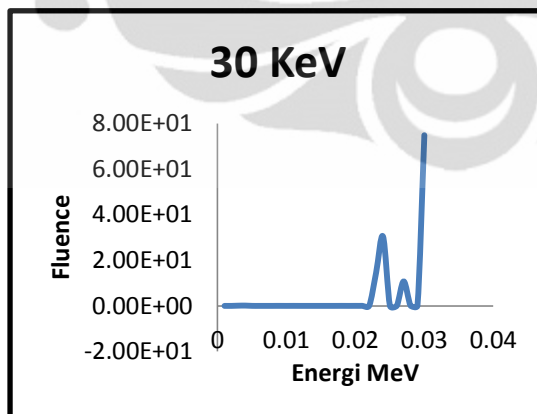
Dengan menggunakan simulasi Monte Carlo, respon detektor CdTe terhadap sinar-X monoenergi dapat ditentukan. Data hasil simulasi Respon detector dapat dilihat pada lampiran dan grafkk respon matriks untuk beberapa monoenergi terhadap Fluence dapat dilihat dibawah ini:



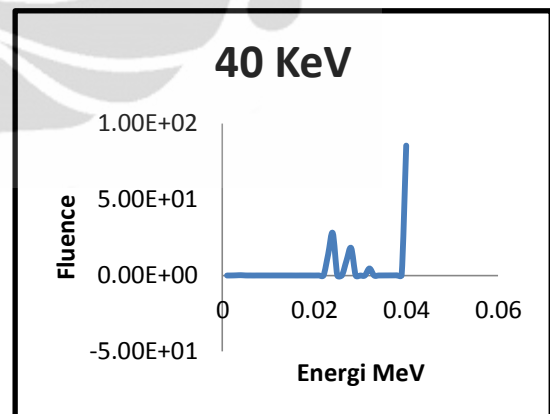
(a)



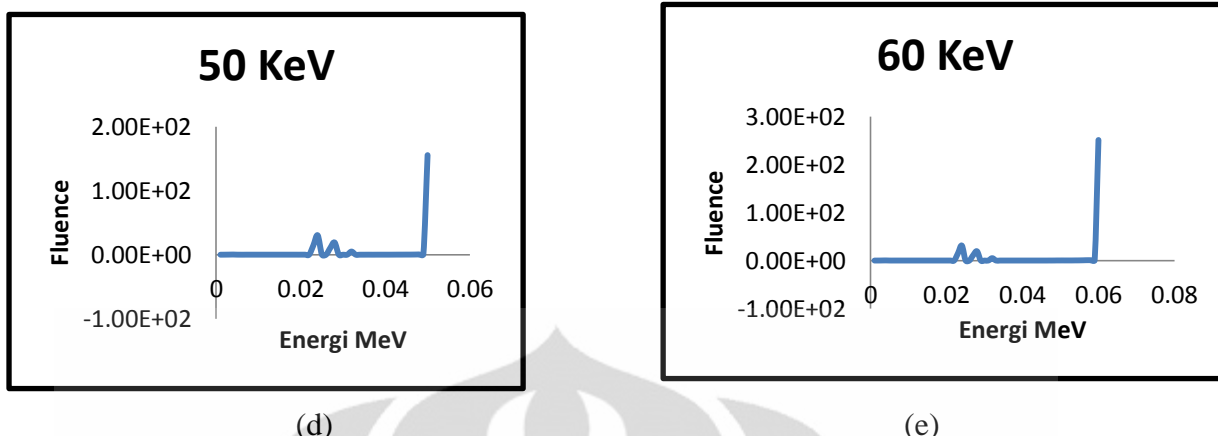
(b)



(c)



(d)

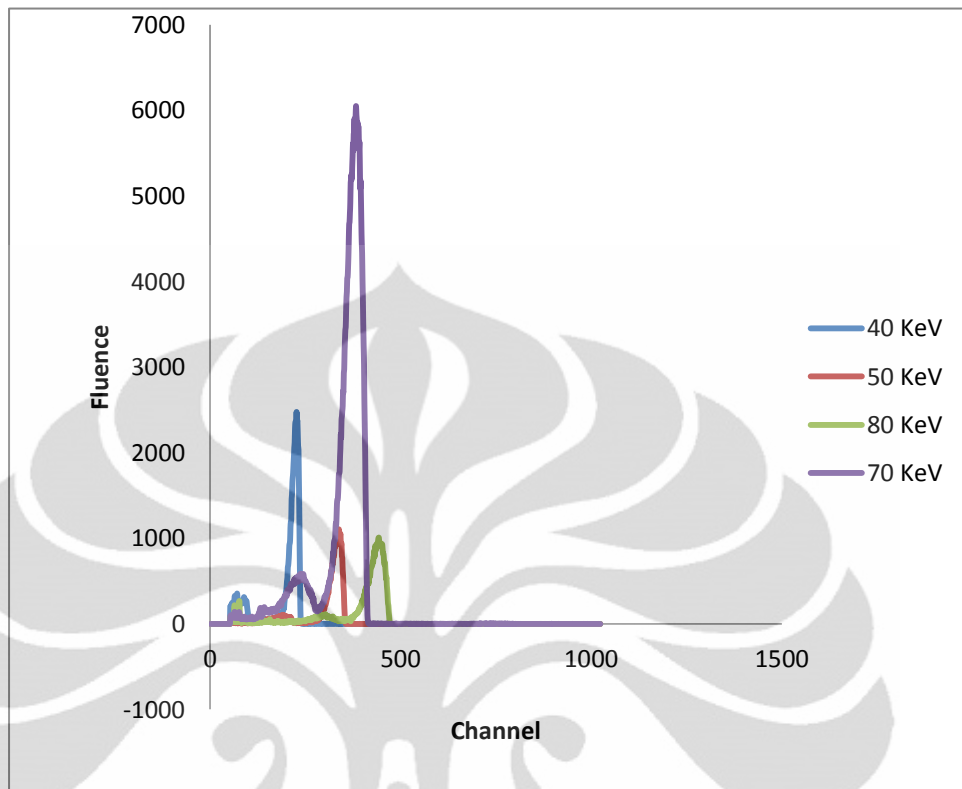


**Gambar 4.1** Grafik respon Detektor CdTe terhadap sinar-X monoenergi

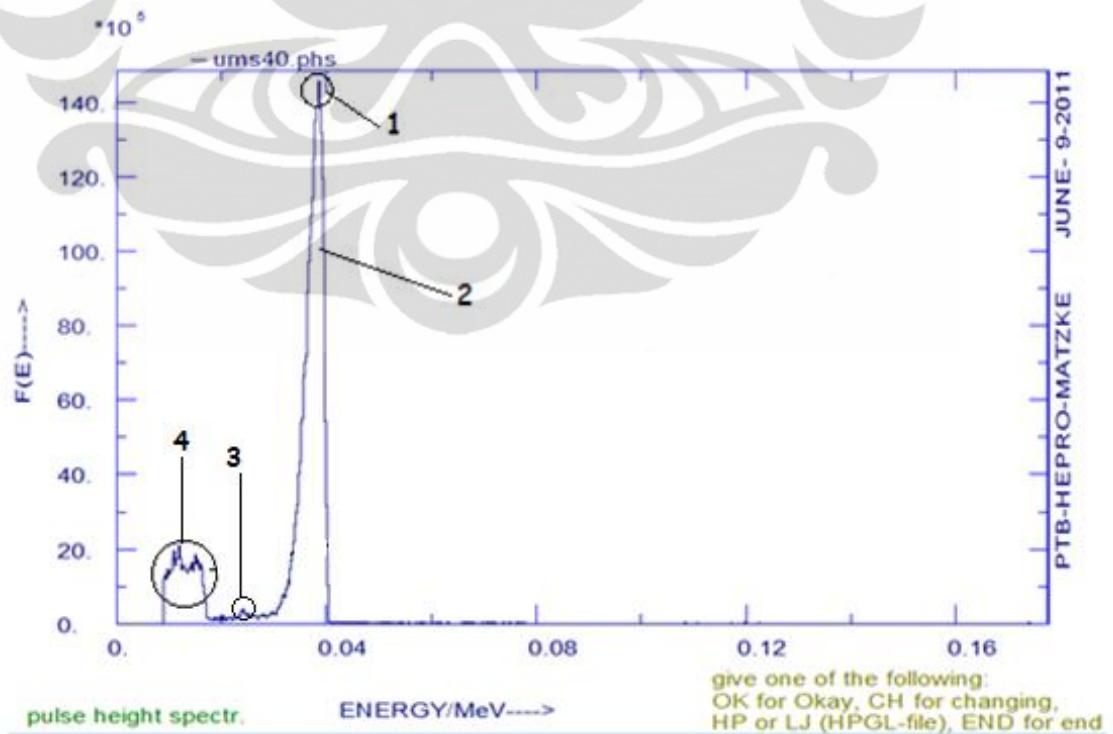
Dalam gambar 4.1 di atas, terlihat bahwa respon detector terhadap sinar-X monoenergi bervariasi pada energi di atas 20 KeV. Respon ideal seharusnya adalah nilai fluence terbesar hanya ada pada titik energi yaitu pada titik energi diskritnya dan nilai fluence dibawah dan diatas itu bernilai nol. Hal ini menandakan bahwa respon – model – detector CdTe untuk energi diatas 20 KeV sudah mulai tidak ideal. Detector CdTe yang dimodelkan terdiri dari beberapa unsur material dimana material ini akan berinteraksi dengan radiasi sinar-X sehingga setiap material ini menyebabkan adanya sinar-X karakteristik. Spektrum Sinar-X karakteristik ini akan terbaca sebagai spektrum tambahan sehingga muncul sebagai noise pada kisaran 20 KeV dan nilai ini akan selalu ada jika detector ini mendapat radiasi diatas 20 KeV. Semua nilai pembacaan ini selanjutnya akan disusun menjadi satu file respon matriks yang dalam proses selanjutnya disebut fungsi respon.

## 4.2 Data Pengukuran

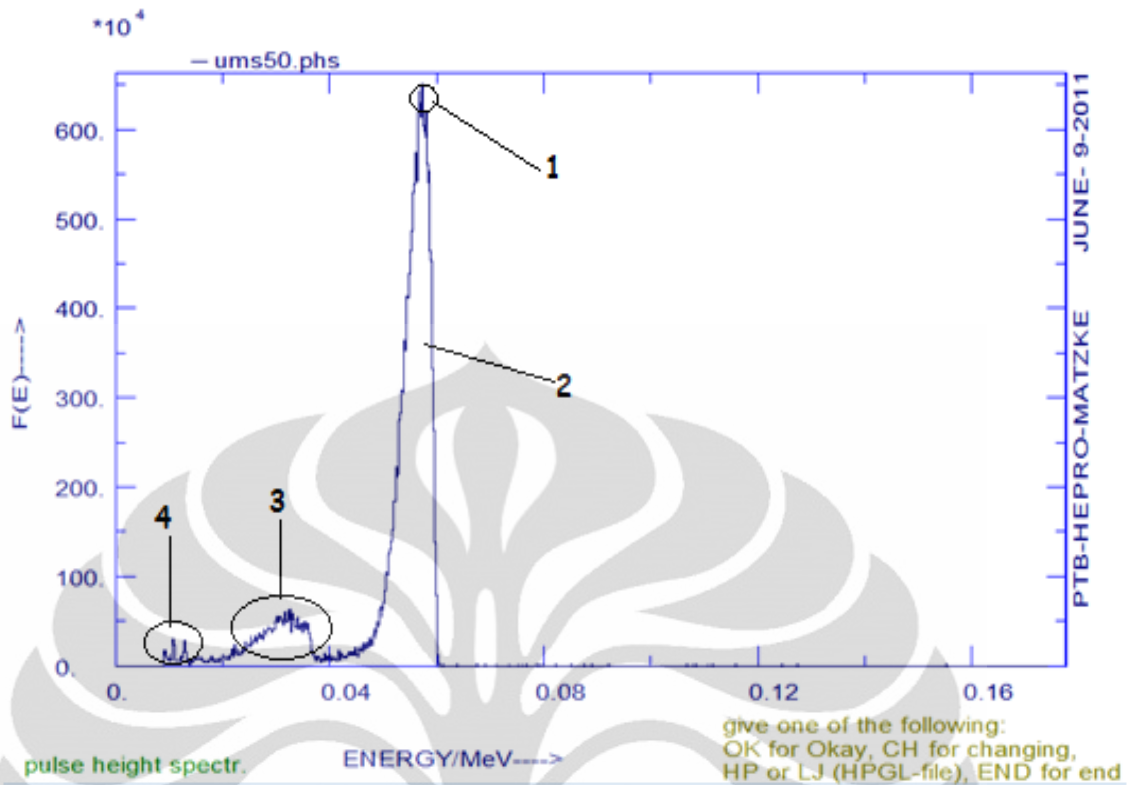
Data pengukuran spektrum sinar-X didapat langsung dari pengukuran dengan menggunakan detector CdTe pada jarak 100 cm dan variasi pengukuran 10 KeV dari 40 – 80 KeV. Data pengukuran sinar-X dapat dilihat pada gambar dibawah.



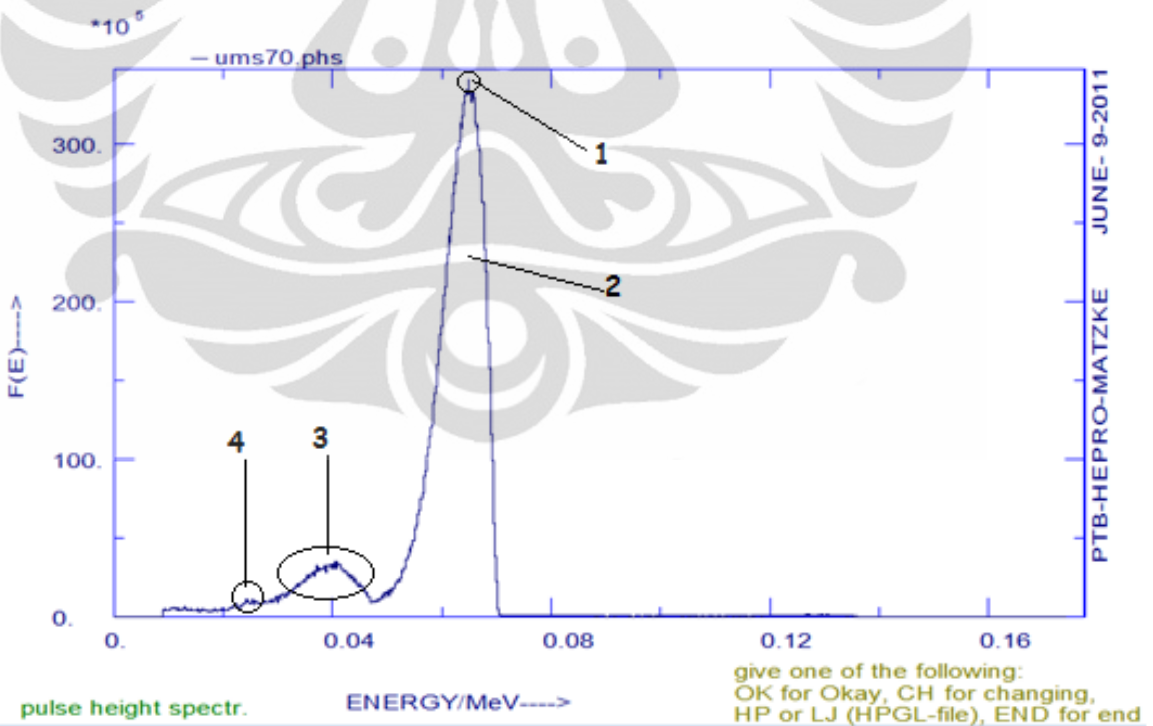
(a)



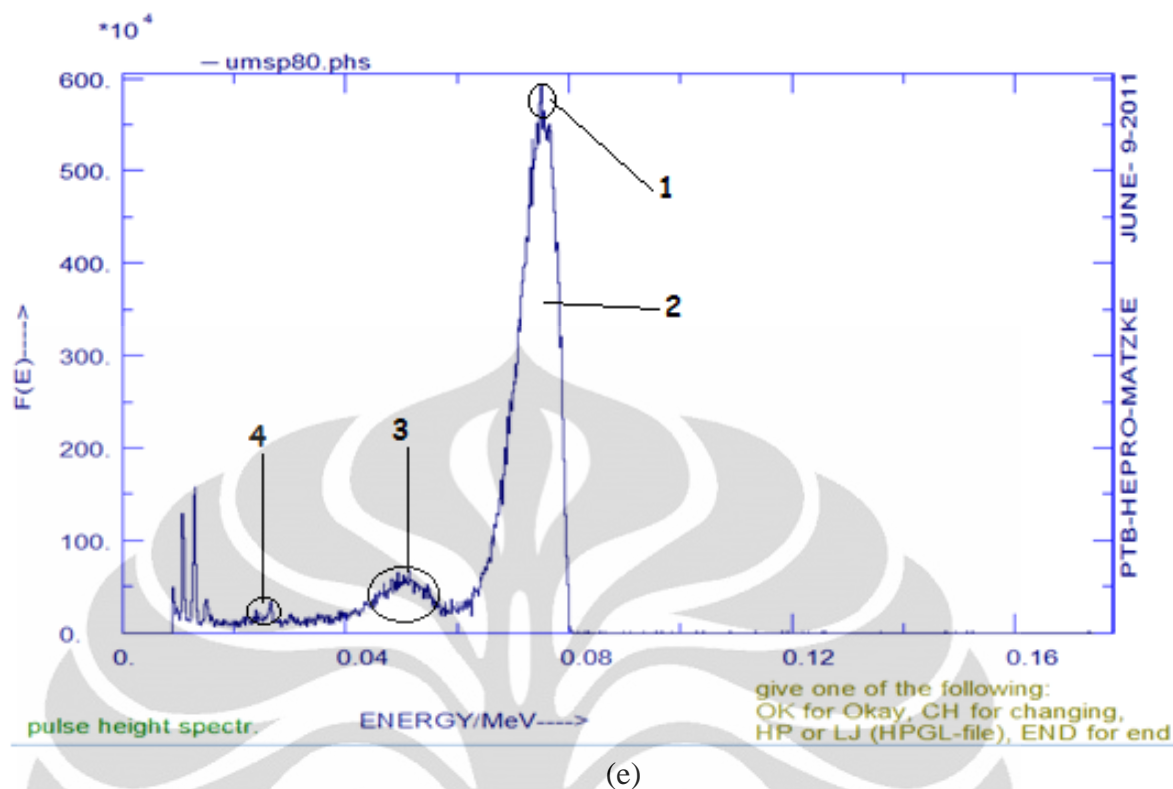
(b)



(c)



(d)



**Gambar 4. 2** (a) grafik spektrum sinar-x terhadap channel. (b – e ) grafik spektrum sinar-X terhadap energy.

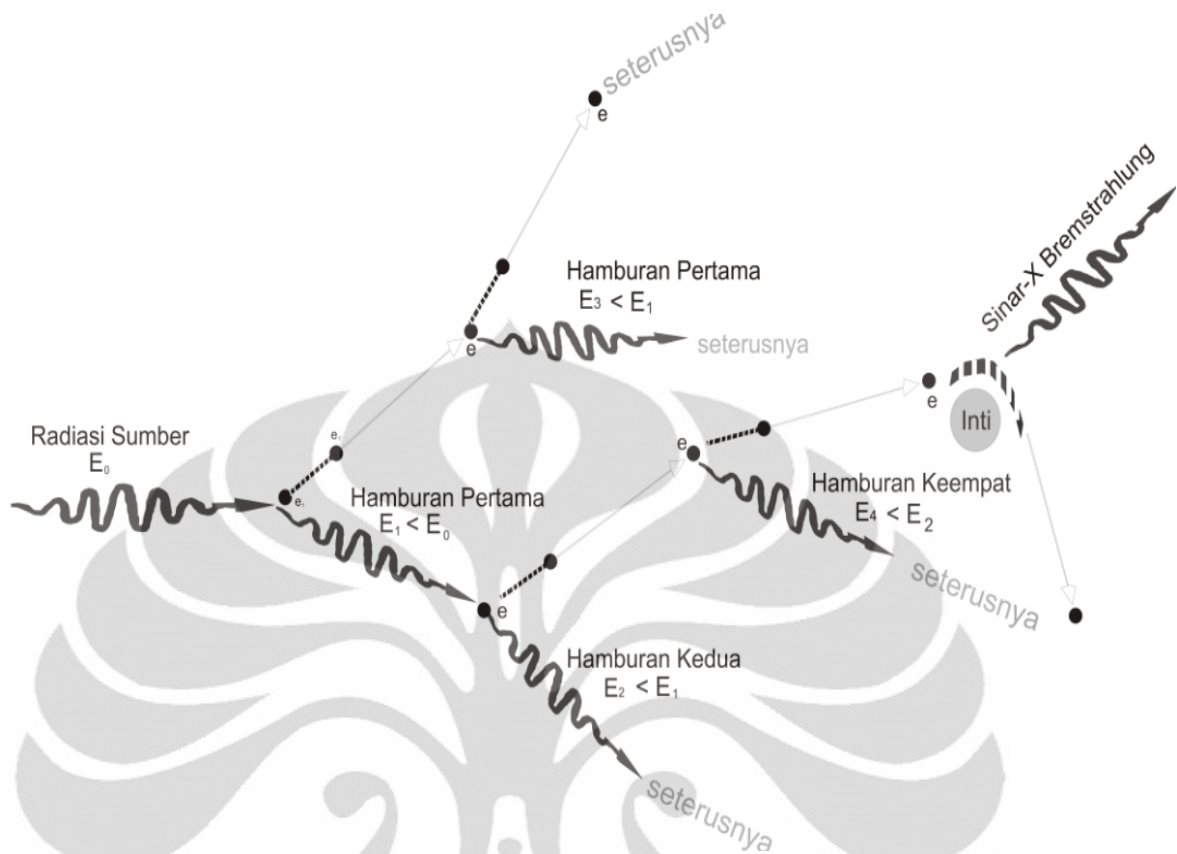
Pada grafik hasil pengukuran sinar-X monoenergi diatas terlihat bahwa ada beberapa peak lain yang merupakan spektrum sinar-X karakteristik dari detector. Spektrum ini sulit untuk dihilangkan karena spektrum ini akan selalu muncul selama material detector berinteraksi dengan radiasi. Interaksi radiasi dengan material detector ini cukup beragam dari efek fotolistrik, efek Compton hingga bremsstrahlung.

Dalam gambar b – e dengan indeks nomor 1 dan 2 adalah spektrum sinar-X sumber yang merupakan hasil interaksi elektron yang dipercepat dalam tabung sinar-X dengan tegangan listrik yang tinggi. Electron yang bergerak dengan kecepatan tinggi ini tiba-tiba menabrak bahan target yang berada pada kutub anoda dari tabung pesawat sinar-X. Pada peristiwa tabrakan ini akan dilepas sejumlah besar energy kinetik electron menjadi sinar-X. Dalam kutub anoda terjadi peristiwa interaksi lagi antara electron-elektron dari atom-atom bahan target yang juga akan memicu terbentuknya sinar-X. Karena peristiwa inilah muncul spektrum sinar-x Bremstrahlung

dan sinar-X karakteristik di dalam sumber sinar-X yang ditunjukkan secara berturut-turut oleh no 2 dan 1.

Dalam gambar b – e dengan indeks nomor 3 dan 4 adalah spektrum karakteristik dari interaksi ini. Spektrum ini muncul akibat dari peristiwa sebagai berikut, diawali dengan sebuah radiasi yang datang mengenai material detector. Radiasi ini akan mentransfer energy kepada electron terluar atom dari material detector sehingga electron ini bergerak keluar dari lintasannya dengan kecepatan tertentu ( $v$ ), ini yang kita ketahui sebagai peristiwa fotolistrik. Seperti kita ketahui, hasil dari efek fotolistrik adalah electron bebas dan spektrum radiasi terhambur yang dikenal dengan hamburan Compton.

Dalam sebuah detector, walaupun materialnya cukup kecil, tapi di dalamnya terdapat banyak sekali atom sehingga dalam peristiwa interaksi radiasi dengan materi seperti efek fotolistrik dan efek Compton tidak hanya terjadi sekali atau beberapa kali, tapi sangat banyak hingga energy yang ditransfer oleh radiasi yang datang terserap semua oleh material detector. Di dalam detector akan terjadi peristiwa berantai. Radiasi yang datang mengenai detector akan menyebabkan electron bergerak menjadi electron bebas dan hamburan radiasi yang memiliki energy masing-masing. Electron bebas dan hamburan radiasi ini akan berinteraksi dengan electron atom lain yang berdekatan dengannya dan menyebabkan electron tersebut keluar dari lintasannya, selain itu ada juga electron yang sedang bergerak ini melintas disekitar inti atom sehingga terjadi pembelokan arah gerak dan electron ini akan kehilangan sebagian besar energy dan memicu terbentuknya sinar-X, begitu seterusnya. Peristiwa interaksi ini akan berlangsung terus hingga energy radiasi yang datang pada material habis terserap. Karena peristiwa-peristiwa inilah muncul sinar-X Bremstrahlung dan sinar-X karakteristik di dalam detector yang ditunjukkan oleh nomor 3 dan 4.



**Gambar 4.3** Interaksi Radiasi di Dalam Detektor

Radiasi sinar-X yang terjadi akibat intraksi ini akan dideteksi oleh detector dan dianggap sebagai spektrum lain diluar spektrum sinar-X dari sumber radiasi dan akan menimbulkan spectrum baru yang lebih kecil pada interpace detector. Dalam skripsi ini, penulis ingin mencoba mengoreksi spektrum sinar-X pada detector ini dengan program HeproW sehingga spektrum akhir yang didapat adalah spektrum sinar-X diudara.

### 4.3 Hasil Koreksi Spektrum dengan Unfolding

Proses unfolding untuk mengoreksi data hasil pengukuran ini memiliki beberapa tahapan yang harus dilalui. Tahapan – tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



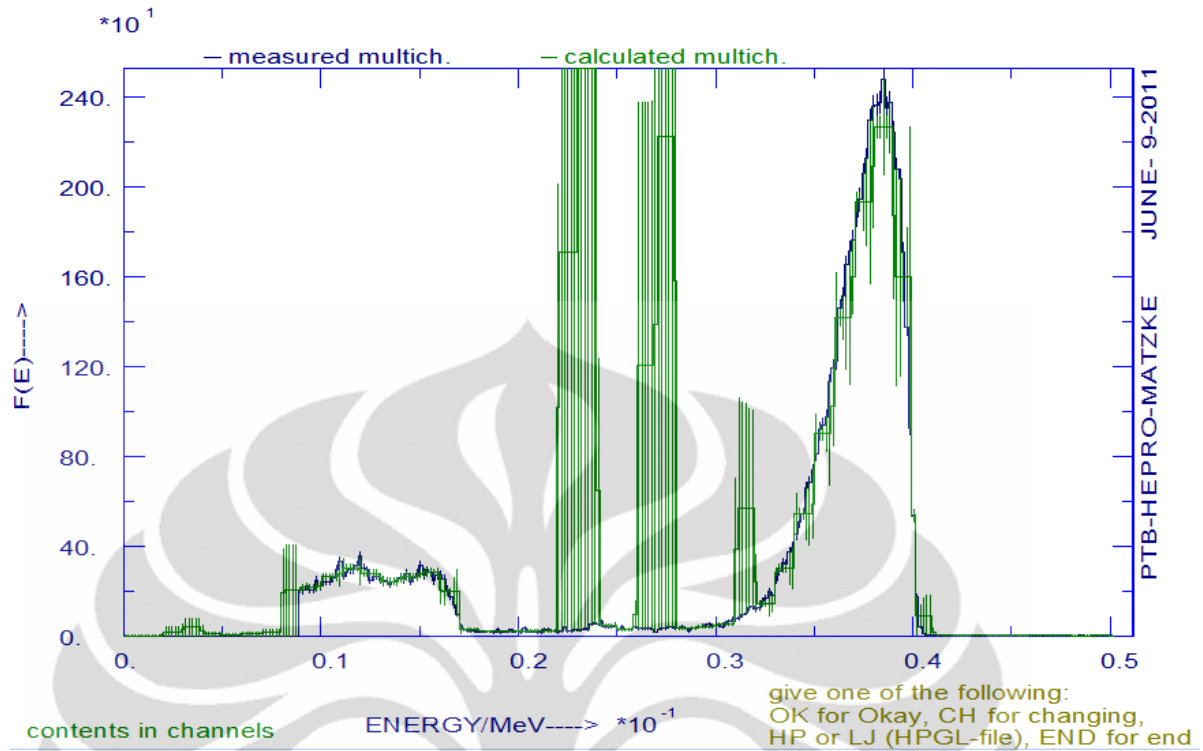
#### 4.3.1. Membuat Fungsi Respon

Fungsi respon merupakan kumpulan respon – respon tiap channel detector terhadap radiasi yang diberikan. Pembuatan dan penyusunan matriks ini telah dibahas pada poin 4.1 diatas.

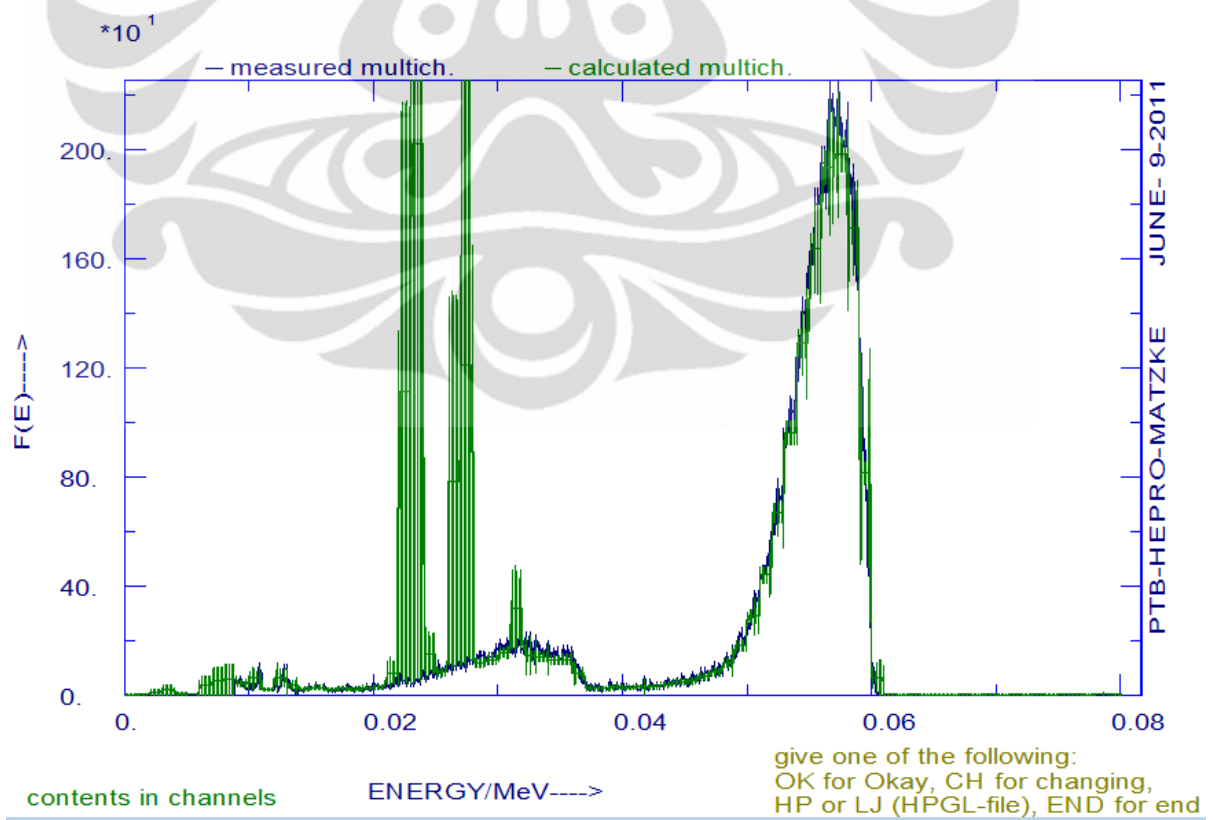
#### 4.3.2 Membuat File Input

Untuk bisa menjalankan program Heprow dengan baik, file input yang digunakan harus dalam bentuk Heprow format, sedangkan data hasil pengukuran spektrum sinar-X diatas masih dalam format original program yang digunakan dalam mengukur. Oleh karena itu, pada tahapan ini data hasil pengukuran ditransformasi ke dalam file dengan format Heprow.

Setelah kedua tahap tersebut dilakukan, proses koreksi dengan program Heprow dapat dijalankan dengan menggunakan program GRAVELW dari salah satu program yang ada pada paket Heprow. Dalam menjalankan program ini, ada dua hal yang harus diperhatikan, yaitu rentang energy yang ingin diatur dengan unfolding dan banyaknya iterasi (perhitungan algoritma) yang dibutuhkan. Rentang energy yang ingin diatur harus sesuai dengan rentang energy yang dibuat pada respon matriks atau nilai batas maksimum dari rentang energy yang ingin diatur berada dibawah batas energy maksimum pada respon matriks. Semakin besar nilai itersi, akan semakin baik hasil perhitungan karna akan memperkecil nilai deviasi. Hasil koreksi pengukuran spektrum tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

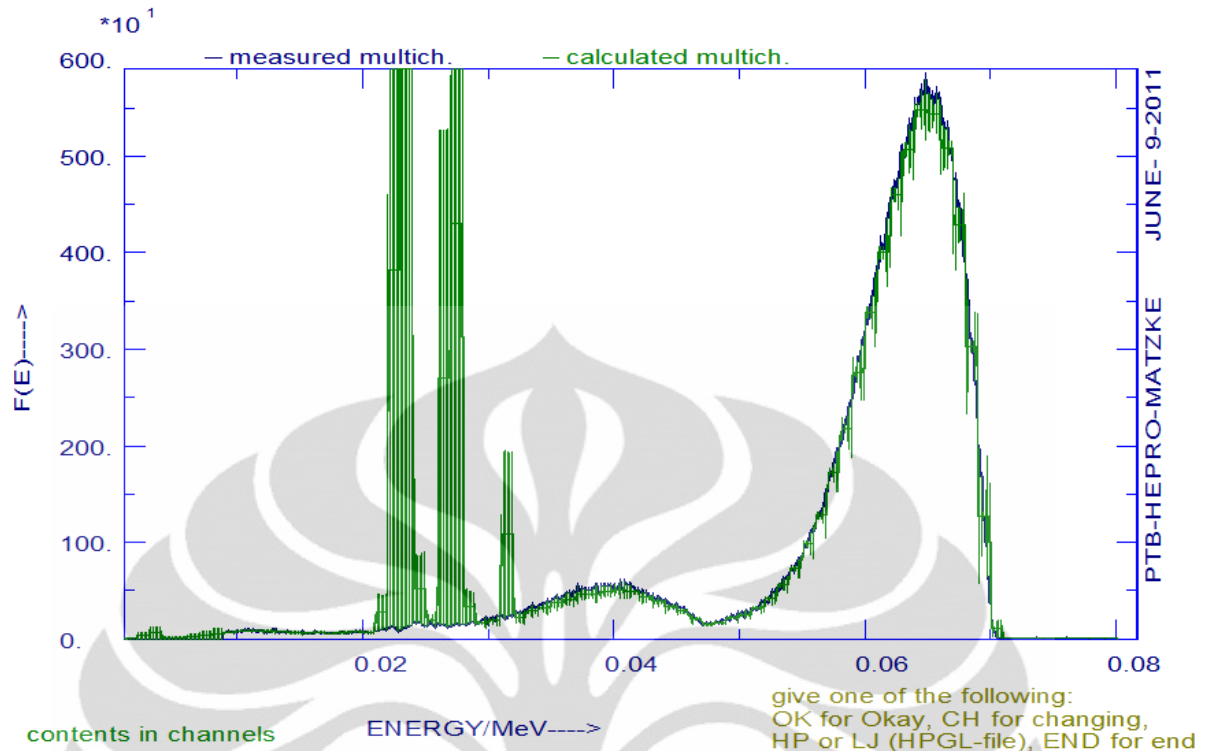


(a)

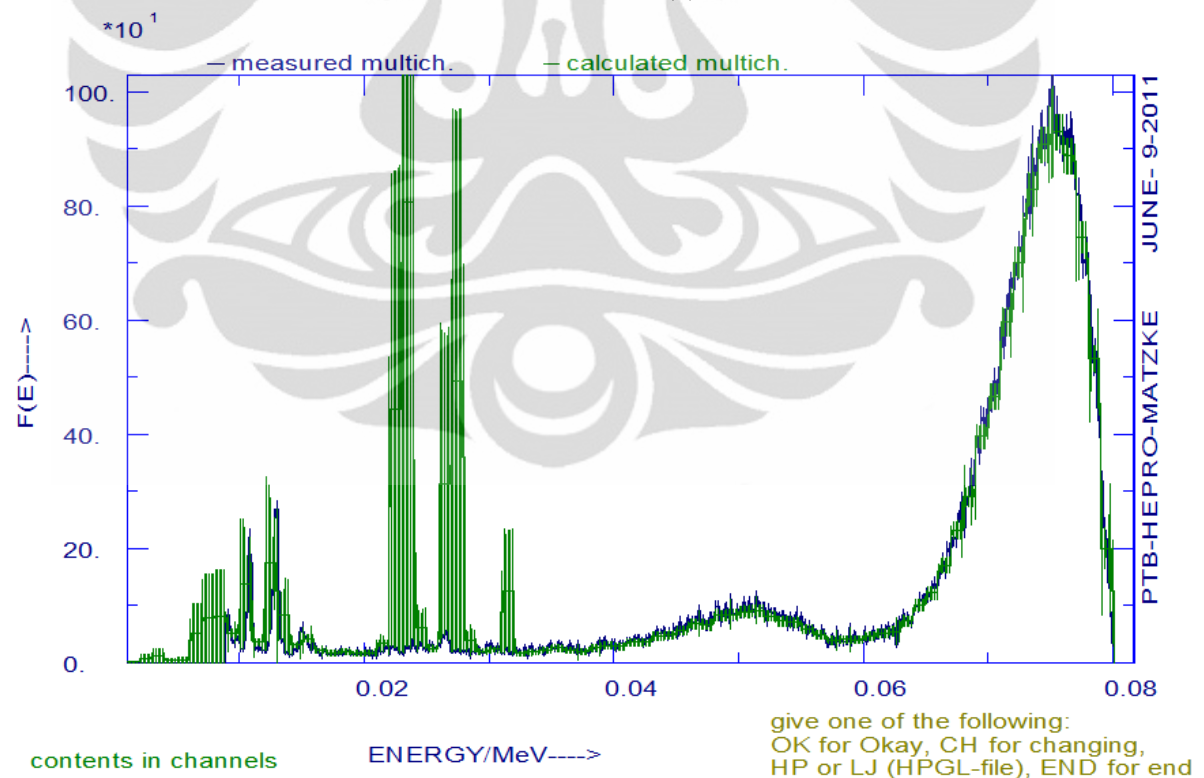


(b)

Universitas Indonesia



(c)



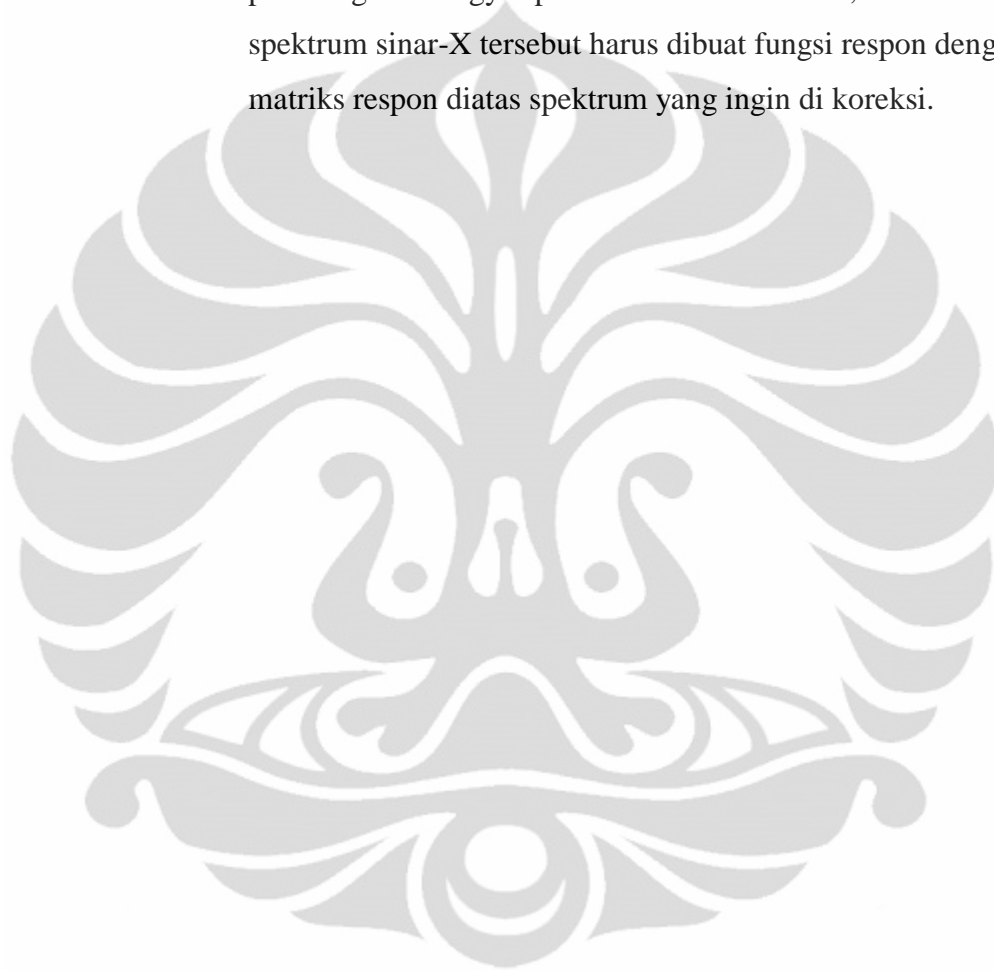
(d)

**Gambar 4.4** Grafik energy sinar-X terhadap fluence. (a) 40 KeV, (b) 50 KeV, (c) 70 KeV, (d) 80 KeV

Gambar 4.3 merupakan gambar spektrum sinar-X yang telah dihitung dengan menggunakan program unfolding (GRAVELW). Spektrum hasil pengukuran dengan hasil perhitungan rata – rata memperlihatkan hubungan yang tidak begitu jauh. Spektrum hasil pengukuran memiliki noise (terlihat dengan tidak halusnya grafik) karna adanya factor interaksi radiasi sinar-X dengan material yang ada pada komponen detector, sedangkan noise pada spektrum sinar-X hasil perhitungan karena adanya ketidakidealan respon detector hasil simulasi pada rentang energy 20 – 30 KeV. Program unfolding yang digunakan disini akan menormalisasi spektrum hasil pengukuran di detector dengan respon idealnya pada detector itu juga dan melakukan iterasi sebanyak iterasi yang diberikan oleh pengguna. Iterasi ini akan menimbulkan keuntungan dan kerugian, yaitu jika nilai iterasi besar, spektrum hasil perhitungan akan lebih baik dalam mengoreksi spektrum hasil pengukuran, sedangkan kerugiannya adalah spektrum noise pada respon matriks akan diperbesar berbanding lurus dengan nilai iterasi. Pada kasus ini, besar nilai perbesaran noise ini adalah hampir 100 kali lipat dengan iterasi yang dilakukan sebanyak 10000 kali.

Pada gambar 4.3 diatas, tampak kedua spektrum hampir berhimpit yang menandakan bahwa spektrum hasil perhitungan bisa mengoreksi spektrum hasil pengukuran pada tingkat noise yang cukup kecil. Hal ini berkaitan erat dengan efisiensi detector CdTe dalam mengukur radiasi sinar-X. Pada daftar spesifikasi detector CdTe, efisiensinya cukup besar untuk mengukur spektrum sinar-X pada energy dibawah 100 KeV, yang menandakan bahwa spektrum sinar-X yang telah digunakan disini sudah hampir menunjukkan nilai kebenaran berdasarkan efisiensinya. Oleh karena itu, spektrum sinar-X hasil perhitungan menunjukkan hasil koreksi yang tidak begitu signifikan.

Respon matriks yang dibangun oleh penulis dalam skripsi ini terbatas hanya pada rentang energy 2 – 100 KeV dengan gap sebesar 1 KeV, sehingga untuk melakukan koreksi spektrum sinar-X dengan energy yang lebih besar dari 100 KeV tidak bisa dilakukan karena program Heprow tidak bisa mendeteksi respon pada tingkat energy seperti itu. Oleh karena itu, untuk mengoreksi spektrum sinar-X tersebut harus dibuat fungsi respon dengan matriks respon diatas spektrum yang ingin di koreksi.



## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 KESIMPULAN**

Setiap pengukuran spectrum radiasi pasti terjadi sedikit ketidaktepatan dengan nilai atau spectrum sesungguhnya yang banyak disebabkan oleh berbagai macam factor. Jika ditinjau dari segi alat, besaran-besaran fisik lain yang ada dalam alat ikut serta mempengaruhi. Keadaan seperti ini akan berdampak pada spectrum yang terukur dan berakibat timbulnya spektrum ketinggian pulsa yang lain pada channel tertentu dalam sekali pengukuran, inilah yang disebut dengan noise. Dengan adanya program dari Heprow, spectrum noise ini berhasil dikoreksi dengan beberapa tahap sehingga spektrum yang terukur bisa didapatkan seperti spektrum yang sesungguhnya. Dalam menjalankan program ini, data hasil pengukuran dibutuhkan. Selain itu, factor terpenting dalam menjalankan program ini adalah fungsi respon dari detector yang digunakan dalam pengukuran spektrum. Fungsi respon ini dapat dibuat dengan program ini juga. Fungsi respon ini menggambarkan responsifitas tiap channel dari detector yang berisi matriks respon – respon tiap channel detector. Tingkat keberhasilan koreksi ini akan ditentukan oleh seberapa ideal nilai respon matriks yang dibuat.

### **5.2 SARAN & REKOMENDASI**

Untuk melihat seberapa baik program ini bisa mengoreksi sebuah spektrum, disarankan untuk membuat respon matrik dari hasil simulasi seideal mungkin. Selain itu disarankan juga untuk membuat model detector untuk simulasi dengan sempurna sehingga dalam proses pembentukan respon matriks data yang digunakan adalah data respon ideal sehingga perhitungan dengan algoritma ini tidak menimbulkan noise

akibat iterasi. untuk penggunaan data pengukuran, penulis menyarankan untuk menggunakan data pengukuran yang lebih banyak pada rentang diagnostic, yaitu 50 – 150 KeV.



## DAFTAR PUSTAKA

- Handbook on Neutron Spectrometry in Mixed Fields*. (2002). Braunschweig, Germany.
- amptek Inc.* (2011, Juni Selasa). Retrieved from AMPTEK:  
<http://amptek.com/xr100cdt.html>
- Sinar-X Bremstrahlung dan Sinar-X karakteristik*. (2011, April). Retrieved from gudangmateri.com: <http://www.gudangmateri.com/2011/03/sinar-x-bremstrahlung-dan-karakteristik.html>
- Fauzi, A. (2010). Analisa Spektrum Pengukuran Pada Tabung Pesawat Sinar-x YT.U 320-D03 dengan Metode Simulasi. *Skripsi FMIPA UI*, 66.
- 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.
- 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*.
- Krane, K. (2006). *Fisika Modern*. Jakarta: UIP.
- Makoto, H., Masahiko, O., & et, a. (2009). Simulation Study on Unfolding Methods for Diagnostic X-rays. *Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY*, 46, 76-82.
- Matzke, M. (2002). Propagation of uncertainties in unfolding procedures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 476.
- Matzke, M. (2002). Unfolding Method. *Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)*, 43.
- Matzke, M. (2004). The HEPROW Program System. *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, 40.
- 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*.
- Moralles, M., Bonafacio, D., & et, a. (2007). Monte Carlo and least-squares methods applied in unfolding of X-ray spectra measured with cadmium telluride detectors. *Nuclear Instruments & Methods in physics research*.



Novotny, T., Buermann, L., Guldbakke, S., & Klein, H. (1997). Response of NE213 liquid scintillation detectors to high-energy photons ( $7 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$ ). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 400.

rajakadal. (2011, Mei Rabu). *sifat partikel dari cahaya*. Retrieved from indonesiaindonesia.com: <http://www.indonesiaindonesia.com/f/81548-sifat-partikel-cahaya-efek-compton/>

Tipler, P. (1991). *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. (D. Soegijono, Trans.) Jakarta: Erlangga.



**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

Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
1	0	97	8	146	39	195	65	244	9
...	0	98	10	147	39	196	100	245	9
.....	0	99	7	148	36	197	88	246	13
.....	0	100	7	149	56	198	82	247	30
52	0	101	10	150	39	199	76	248	12
53	28	102	11	151	44	200	71	249	9
54	21	103	8	152	47	201	84	250	23
55	30	104	10	153	49	202	90	251	17
56	24	105	12	154	55	203	69	252	15
57	16	106	17	155	44	204	78	253	19
58	12	107	11	156	53	205	72	254	15
59	11	108	12	157	53	206	79	255	19
60	20	109	6	158	61	207	65	256	15
61	11	110	11	159	54	208	68	257	21
62	13	111	12	160	54	209	83	258	26
63	20	112	9	161	58	210	72	259	23
64	51	113	7	162	50	211	82	260	22
65	40	114	12	163	70	212	70	261	25
66	10	115	16	164	63	213	79	262	21
67	9	116	10	165	64	214	60	263	27
68	10	117	9	166	59	215	56	264	20
69	10	118	22	167	67	216	50	265	35

Universitas Indonesia

70	10	119	17	168	71	217	30	266	30
71	9	120	17	169	71	218	26	267	20
72	19	121	13	170	72	219	22	268	19
73	6	122	12	171	70	220	18	269	31
74	16	123	12	172	63	221	10	270	36
75	27	124	18	173	69	222	17	271	29
76	48	125	19	174	69	223	9	272	31
77	48	126	12	175	70	224	17	273	27
78	25	127	20	176	84	225	15	274	43
79	13	128	20	177	85	226	16	275	32
80	9	129	31	178	93	227	8	276	43
81	8	130	19	179	83	228	13	277	39
82	3	131	39	180	83	229	13	278	33
83	9	132	25	181	95	230	10	279	46
84	9	133	27	182	91	231	23	280	54
85	6	134	21	183	87	232	13	281	37
86	11	135	31	184	85	233	9	282	51
87	12	136	20	185	77	234	19	283	48
88	16	137	20	186	88	235	13	284	40
89	12	138	25	187	101	236	16	285	58
90	12	139	30	188	86	237	21	286	69
91	18	140	24	189	84	238	11	287	53
92	12	141	34	190	104	239	16	288	63
93	12	142	46	191	89	240	15	289	83
94	12	143	28	192	106	241	12	290	75
95	16	144	35	193	87	242	15	291	78
96	9	145	45	194	65	243	16	292	106

Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
293	112	312	365	331	976	350	566	369	0
294	94	313	467	332	975	351	449	370	0
295	108	314	477	333	923	352	376	371	0
296	120	315	481	334	1056	353	235	372	0
297	131	316	525	335	1093	354	134	373	0
298	142	317	521	336	1072	355	51	374	0
299	179	318	518	337	1043	356	20	375	0
300	172	319	618	338	1060	357	4	376	0
301	177	320	600	339	1106	358	0	377	0
302	212	321	659	340	1029	359	0	378	0
303	222	322	704	341	1018	360	0	379	0
304	223	323	699	342	1005	361	0	380	0
305	238	324	747	343	1055	362	0	381	0
306	260	325	786	344	954	363	0	382	0
307	282	326	789	345	920	364	0	383	0
308	312	327	828	346	942	365	0	.....	0
309	313	328	900	347	789	366	0	.....	0
310	377	329	901	348	770	367	0	.....	0
311	360	330	918	349	628	368	0	1024	0

### 1.3 Data Pengukuran 70 KeV

Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
1	0	97	65	146	154	195	309	244	584
...	0	98	54	147	141	196	328	245	578
.....	0	99	62	148	147	197	316	246	547
.....	0	100	64	149	167	198	344	247	514
52	0	101	61	150	137	199	328	248	513
53	86	102	66	151	156	200	353	249	503
54	97	103	76	152	164	201	324	250	506
55	103	104	60	153	136	202	369	251	496
56	96	105	68	154	130	203	396	252	488
57	84	106	60	155	141	204	385	253	474
58	78	107	56	156	135	205	372	254	450
59	95	108	62	157	149	206	406	255	447
60	71	109	61	158	137	207	398	256	452
61	74	110	86	159	139	208	403	257	400
62	83	111	59	160	140	209	423	258	411
63	94	112	69	161	176	210	395	259	421

64	140	113	54	162	150	211	434	260	370
65	139	114	59	163	145	212	467	261	353
66	76	115	69	164	160	213	457	262	376
67	81	116	60	165	143	214	468	263	401
68	72	117	64	166	151	215	478	264	390
69	88	118	63	167	170	216	470	265	336
70	77	119	71	168	157	217	457	266	320
71	77	120	65	169	180	218	474	267	358
72	71	121	81	170	167	219	478	268	324
73	75	122	81	171	142	220	497	269	298
74	83	123	87	172	156	221	522	270	254
75	86	124	71	173	179	222	467	271	305
76	139	125	95	174	169	223	508	272	266
77	131	126	89	175	154	224	532	273	240
78	98	127	104	176	185	225	494	274	205
79	80	128	125	177	183	226	544	275	202
80	62	129	111	178	207	227	503	276	160
81	58	130	150	179	200	228	533	277	158
82	63	131	169	180	222	229	544	278	173
83	65	132	188	181	217	230	540	279	174
84	58	133	165	182	241	231	550	280	158
85	70	134	93	183	219	232	494	281	146
86	77	135	81	184	240	233	566	282	155
87	58	136	98	185	210	234	570	283	171
88	75	137	131	186	246	235	566	284	157
89	71	138	115	187	219	236	556	285	162
90	86	139	123	188	274	237	585	286	201
91	71	140	143	189	268	238	581	287	199
92	61	141	167	190	272	239	561	288	166
93	70	142	197	191	277	240	512	289	200
94	54	143	187	192	286	241	571	290	179
95	54	144	161	193	296	242	530	291	212
96	69	145	134	194	293	243	554	292	215

Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
293	212	314	501	335	1454	356	3649	377	5741
294	209	315	534	336	1517	357	3816	378	5902
295	245	316	542	337	1630	358	3882	379	5663
296	245	317	594	338	1751	359	4039	380	5856
297	251	318	623	339	1761	360	4050	381	5935
298	262	319	639	340	1781	361	4151	382	6051
299	251	320	631	341	1946	362	4286	383	5947
300	317	321	708	342	2049	363	4480	384	5887
301	301	322	772	343	2176	364	4671	385	5796
302	297	323	837	344	2391	365	4693	386	5859
303	335	324	825	345	2424	366	4801	387	5737
304	330	325	945	346	2489	367	4920	388	5817
305	337	326	970	347	2548	368	5155	389	5753
306	363	327	981	348	2722	369	5191	390	5546
307	374	328	980	349	2703	370	5250		
308	400	329	1095	350	2932	371	5196		
309	420	330	1176	351	2975	372	5340		
310	443	331	1155	352	3190	373	5464		
311	422	332	1267	353	3314	374	5612		
312	495	333	1403	354	3437	375	5529		
313	502	334	1451	355	3469	376	5725		

#### 1.4 Data Pengukuran 80 KeV

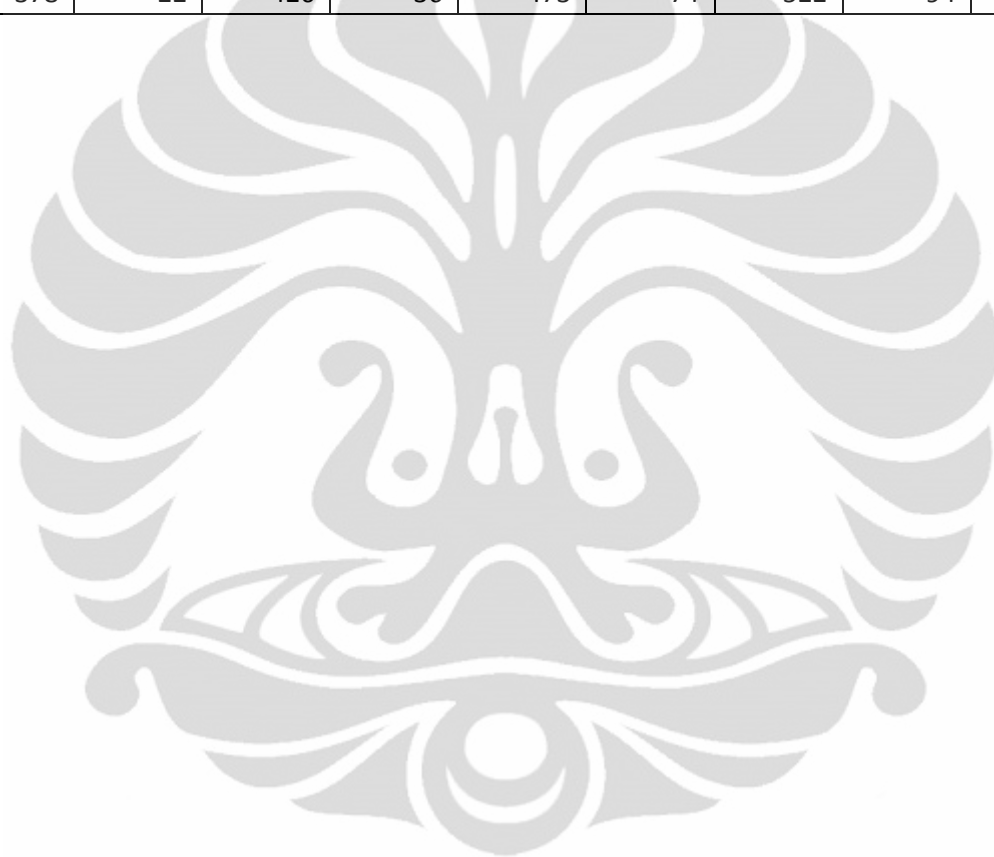
Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
1	0	134	47	183	18	232	15	281	20
...	0	135	35	184	14	233	16	282	18
.....	0	136	36	185	17	234	24	283	21
.....	0	137	24	186	18	235	32	284	22
89	0	138	15	187	18	236	31	285	14
90	75	139	18	188	20	237	24	286	11
91	91	140	17	189	20	238	23	287	16
92	80	141	13	190	15	239	34	288	20
93	62	142	11	191	13	240	42	289	19
94	48	143	14	192	13	241	34	290	18
95	40	144	19	193	15	242	24	291	19
96	34	145	23	194	17	243	19	292	22
97	33	146	23	195	20	244	23	293	23

98	41	147	21	196	19	245	30	294	22
99	45	148	26	197	14	246	35	295	18
100	41	149	42	198	13	247	32	296	15
101	32	150	58	199	15	248	26	297	17
102	24	151	62	200	14	249	24	298	23
103	21	152	56	201	16	250	23	299	30
104	25	153	47	202	20	251	20	300	30
105	35	154	43	203	17	252	22	301	29
106	45	155	41	204	14	253	30	302	32
107	80	156	35	205	19	254	32	303	31
108	163	157	26	206	20	255	29	304	25
109	224	158	20	207	12	256	28	305	19
110	205	159	27	208	13	257	26	306	19
111	139	160	34	209	19	258	24	307	25
112	70	161	30	210	15	259	26	308	28
113	34	162	26	211	11	260	29	309	24
114	25	163	24	212	19	261	31	310	19
115	24	164	20	213	23	262	34	311	17
116	25	165	15	214	18	263	40	312	15
117	27	166	11	215	17	264	45	313	18
118	25	167	12	216	20	265	48	314	24
119	22	168	18	217	21	266	53	315	24
120	21	169	23	218	25	267	55	316	18
121	21	170	23	219	29	268	47	317	17
122	21	171	17	220	22	269	33	318	17
123	25	172	13	221	14	270	22	319	15
124	35	173	15	222	22	271	18	320	15
125	44	174	17	223	31	272	20	321	18
126	62	175	17	224	28	273	21	322	21
127	99	176	15	225	26	274	22	323	21
128	164	177	15	226	26	275	23	324	21
129	240	178	19	227	23	276	23	325	19
130	282	179	18	228	20	277	20	326	17
131	262	180	14	229	17	278	18	327	15
132	179	181	20	230	17	279	19	328	16
133	94	182	24	231	18	280	20	329	23



Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence	Channel	Fluence
330	24	378	22	425	31	474	67	523	77
331	14	379	18	426	36	475	61	524	74
332	12	380	14	427	42	476	64	525	89
333	22	381	17	428	44	477	72	526	93
334	28	382	25	429	42	478	79	527	86
335	27	383	29	430	41	479	80	528	84
336	23	384	26	431	41	480	78	529	86
337	20	385	24	432	42	481	78	530	88
338	20	386	25	433	44	482	88	531	83
339	18	387	27	434	50	483	99	532	76
340	19	388	33	435	55	484	101	533	76
341	23	389	38	436	55	485	90	534	80
342	27	390	30	437	51	486	74	535	81
343	25	391	21	438	51	487	72	536	82
344	18	392	29	439	52	488	80	537	82
345	14	393	40	440	55	489	89	538	80
346	19	394	40	441	56	490	96	539	74
347	25	395	34	442	52	491	97	540	64
348	26	396	28	443	46	492	84	541	67
349	29	397	28	444	46	493	77	542	78
350	33	398	31	445	52	494	98	543	74
351	31	399	34	446	51	495	109	544	62
352	26	400	37	447	46	496	89	545	66
353	24	401	36	448	53	497	78	546	79
354	25	402	30	449	62	498	84	547	89
355	28	403	24	450	60	499	91	548	79
356	32	404	28	451	51	500	93	549	63
357	34	405	32	452	45	501	89	550	70
358	32	406	32	453	59	502	84	551	80
359	30	407	33	454	71	503	85	552	73
360	28	408	33	455	60	504	97	553	68
361	24	409	30	456	51	505	104	554	68
362	20	410	29	457	56	506	96	555	56
363	19	411	34	458	63	507	90	556	49
364	24	412	38	459	69	508	95	557	59
365	30	413	38	460	74	509	102	558	63
366	32	414	36	461	73	510	103	559	54
367	29	415	36	462	64	511	99	560	54
368	27	416	38	463	64	512	91	561	59

369	24	417	41	464	70	513	85	562	56
370	17	418	42	465	72	514	97	563	50
371	20	419	42	466	70	515	113	564	47
372	30	420	41	467	69	516	107	565	46
373	27	421	41	468	79	517	95	566	48
374	16	422	40	469	90	518	94	567	54
375	15	423	38	470	79	519	96	568	59
376	19	424	33	471	65	520	95	569	56
377	23	425	31	472	70	521	98	570	46
378	22	426	36	473	74	522	94	571	34



## 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>XI0, 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>0.5,10000,100,1</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.

