



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN SPEKTRUM PESAWAT SINAR X
GENERATOR *CONSTANT POTENTIAL* DAN *SINGLE PHASE*
MENGUNAKAN SISTIM SPEKTROSKOPI**

SKRIPSI

ARI KARDINA

0706262174

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN SPEKTRUM PESAWAT SINAR X
GENERATOR *CONSTANT POTENTIAL* DAN *SINGLE PHASE*
MENGUNAKAN SISTIM SPEKTROSKOPI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana

Oleh

ARI KARDINA

0706262174

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
JUNI 2012**

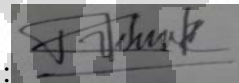
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ari Kardina

NPM : 0706262174

Tanda Tangan :



Tanggal : 13 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ari Kardina

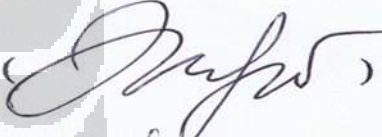
NPM : 0706262174

Program Studi : S1 Fisika

Judul Skripsi : PENGUKURAN SPEKTRUM PESAWAT SINAR X
GENERATOR *CONSTANT POTENTIAL* DAN
SINGLE PHASE MENGGUNAKAN SISTIM
SPEKTROSKOPI

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pembimbing I : Dwi Seno K Sihono, M. Si

()

Pembimbing II: Heru Prasetyo, M. Si

()

Penguji I : Dr. Supriyanto A. Pawiro

()

Penguji II : Kristina Tri Wigati, M. Si

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Esa atas terselesainya skripsi ini. Tujuan ditulisnya skripsi ini untuk memenuhi persyaratan untuk mendapatkan gelar sarjana dari Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Terwujudnya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan jasa dari berbagai pihak. Karenanya, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Djarwani Soeharso Soejoko, sebagai ketua peminatan Fisika Medis Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, dan semua staff pengajar yang menjadi tokoh panutan penulis di bidang Fisika Medis ini.
2. Bapak Dwi Seno K. Sihono, M.Si, sebagai Dosen Pembimbing I yang tanpa jasa dan perhatiannya, segalanya tak mungkin terlaksana.
3. Bapak Heru Prasetyo, M.Si, sebagai pembimbing II yang telah banyak bekorban meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk penulis selama proses penyelesaian skripsi ini, yang tanpa bantuan beliau skripsi ini tentu tidak akan selesai.
4. Bapak Dr. Supriyanto A Pawiro dan Ibu Kristina Tri Wigati, M.Si sebagai dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi.
5. Rekan-rekan staff dosimetri BATAN PTKMR, Mas Eka, Mas Tri, Mas Yahya, dan Mbak Dewi yang turut membantu, memberikan masukan dan ikut meringankan beban penulis dalam melakukan percobaan pengambilan data. Tidak lupa kepada Mas Asep selaku staff penanggung jawab pesawat sinar -X BATAN mampang yang bersedia tanpa kenal lelah memandu penulis dalam proses pengambilan data.
6. Seluruh staf pengajar Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, yang telah mengantarkan penulis untuk meraih cita-cita yang diinginkan.

7. Orang tua, adik-adik, dan seluruh sanak keluarga yang dengan sabar memberikan dukungan, doa, dan motivasi sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
8. Untuk seseorang yang jauh di sana, Vadhani Syah, S.P, yang selalu memberikan semangat sehingga penulis bisa melewati hari-hari yang berat dan melelahkan selama pengerjaan skripsi ini.
9. Anzu Kano yang telah membantu penulis dalam mentranslasi bahasa dalam skripsi ini.
10. Semua mahasiswa Fisika UI 2007 yang selalu kompak, semoga kita semua dapat meraih kesuksesan yang diinginkan.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas dukungannya.

Penulis menyadari benar bahwa hasil studi dan penelitian yang penulis tuangkan dalam skripsi ini sangatlah jauh dari kesempurnaan. Untuk itu, atas nama ilmu pengetahuan sangat diperlukan saran dan masukan yang dapat membangun mutu dari tulisan ini. Atas perhatiannya penulis ucapkan terima kasih.

Depok, 2012

Penulis

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

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

Nama : Ari Kardina
NPM : 0706262174
Program Studi : S1 Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

**PENGUKURAN SPEKTRUM PESAWAT SINAR X GENERATOR
CONSTANT POTENTIAL DAN SINGLE PHASE MENGGUNAKAN
SISTEM SPEKTROSKOPI**

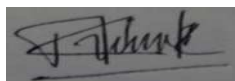
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok, Jawa Barat

Pada tanggal: 13 Juni 2012

Yang menyatakan,



(Ari Kardina)

ABSTRAK

Nama : Ari Kardina
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar X Generator *Constant Potential* dan *Single Phase* Menggunakan Sistem Spektroskopi.

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran untuk mengetahui spektrum pesawat sinar-X generator *constant potential* dan *single phase*. Pengukuran ini membandingkan hasil pengukuran yang dilakukan dengan detektor CdTe dan *non invasive beam analyzer* merek Unfors. Untuk mengkalibrasi detektor CdTe, digunakan dua sumber standar yaitu Americium-241 dan Barium-133. Proses pengukuran menggunakan *software* ADMCA. Pada tahap ini dilakukan pengukuran korelasi antara *channel* dan energi sumber radiasi. Pengambilan data dilakukan dengan meletakkan detektor sejajar dengan tabung pesawat sinar-X dengan jarak 1 meter. Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan puncak pada pesawat sinar-X generator *single phase* berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan detektor Unfors dan CdTe, sehingga perlu dikoreksi dengan nilai rasio yang diperoleh sebesar 1,08. Perbedaan hasil pengukuran ini disebabkan oleh *ripple* tegangan yang besar pada generator *single phase*, sehingga nilai tegangan tabung berfluktuasi menyebabkan nilai bacaan pada detektor CdTe menyimpang dari yang seharusnya. Untuk pesawat sinar-X generator *constant potential* tidak perlu dilakukan koreksi karena nilai tegangan puncak pesawat sesuai dengan hasil pengukuran pada detektor Unfors dan CdTe.

Kata Kunci : *single phase, constant potential, ripple*

ABSTRACT

Name : Ari Kardina
Course program : Physics, Bachelor degree
Title : Spectrum Measurement of Constant Potential and Single Phase X-ray Generator using Spectroscopy System.

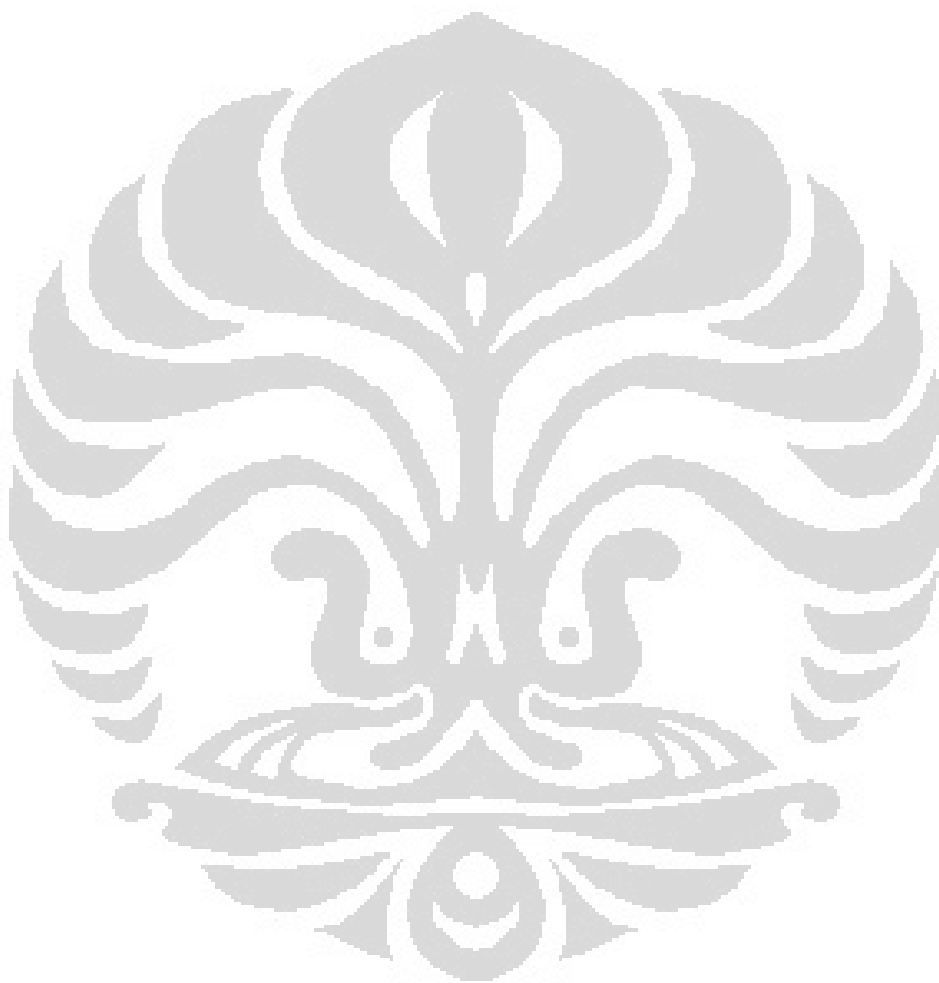
This research is to measure the spectrum of constant potential and single phase X-ray generators. It will compared with the result of CdTe detector and Unfors, the non invasive beam analyzer. Americium-241 and Barium-133 were use to calibrate the CdTe detector. The measurement was use ADMCA to get the correlation between channel and energy of radiation. The detector was place for 1 meter in front of X-ray tube. It should conclude that the kiloVolt peak of single phase X-ray generator was not appropriate with the result of the Unfors and CdTe detector. To appropriate the result, it must be multiplied by 1,08. The different of this result was caused by ripple of single phase generator. The fluctuation caused the value of kiloVolt peak that detected by CdTe was deviate. For constant potential X-ray generator, the result was suitable with unfors and CdTe detector.

Keywords : *single phase, constant potential, ripple*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	2
<i>ABSTRACT</i>	3
DAFTAR ISI	4
DAFTAR TABEL.....	6
DAFTAR GAMBAR.....	8
DAFTAR LAMPIRAN.....	11
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Perumusan Masalah	13
1.3 Tujuan Penelitian	13
1.4 Batasan Masalah	13
1.5 Metode Penelitian	13
1.6 Sistematika Penulisan.....	14
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Struktur Atom.....	16
2.2 Radiasi Elektromagnetik	16
2.3 Karakteristik Sinar-X.....	17
2.4 Komponen Pesawat Sinar-X.....	17
2.4.1 Tabung Sinar-X.....	17
2.4.2 Kontrol Panel Pesawat Sinar-X.....	19
2.5 Produksi Sinar-X	19
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Sinar-X	20
2.7 Generator Pesawat Sinar-X	21
3. METODE PENELITIAN	
3.1 Peralatan	23
3.2 Metode Penelitian.....	23
3.2.1 Kalibrasi Detektor CdTe	23
3.3 Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X <i>Single Phase</i>	24
3.4 Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X <i>Constant Potential</i>	26
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Kalibrasi Detektor CdTe	29
4.2 Hasil Pengukuran Pesawat Sinar-X <i>Single Phase</i>	32
4.3 Hasil Pengukuran Pesawat Sinar-X <i>Constant Potential</i>	36
4.4 Pembahasan	39
5. KESIMPULAN DAN SARAN	

5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR REFERENSI	44
LAMPIRAN.....	45



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Energi Americium-241 dan Barium-133	29
Tabel 4.2	Hasil Kalibrasi Detektor CdTe.....	30
Tabel 4.3	Nilai HVL Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	32
Tabel 4.4	Puncak Tegangan pada 32kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	34
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran 32kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	35
Tabel 4.6	Perolehan Total Filter pada Kualitas Radiasi RQR	36
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran 50kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	38
Tabel 4.8	Hasil Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	39
Tabel 4.9	Hasil Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	40
Tabel A.1	Puncak Tegangan pada 42kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	46
Tabel A.2	Hasil Pengukuran 42kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	46
Tabel A.3	Puncak Tegangan pada 52kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	48
Tabel A.4	Hasil Pengukuran 52kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	48
Tabel A.5	Puncak Tegangan pada 62kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	50
Tabel A.6	Hasil Pengukuran 62kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	50
Tabel A.7	Puncak Tegangan pada 71kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	52
Tabel A.8	Hasil Pengukuran 71kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	52

Tabel A.9 Puncak Tegangan pada 81kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	54
Tabel A.10 Hasil Pengukuran 81kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	54
Tabel A.11 Puncak Tegangan Pada 91kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	56
Tabel A.12 Hasil Pengukuran 91kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	56
Tabel A.13 Puncak Tegangan pada 102kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors.....	58
Tabel A.14 Hasil Pengukuran 102kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i>	58
Tabel C.1 Hasil Pengukuran 60kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	66
Tabel C.2 Hasil Pengukuran 70kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	66
Tabel C.3 Hasil Pengukuran 80kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	66
Tabel C.4 Hasil Pengukuran 90kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	66
Tabel C.5 Hasil Pengukuran 100kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	67
Tabel C.6 Hasil Pengukuran 120kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	67
Tabel C.7 Hasil Pengukuran 150kV Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i>	67

DAFTAR GAMBAR

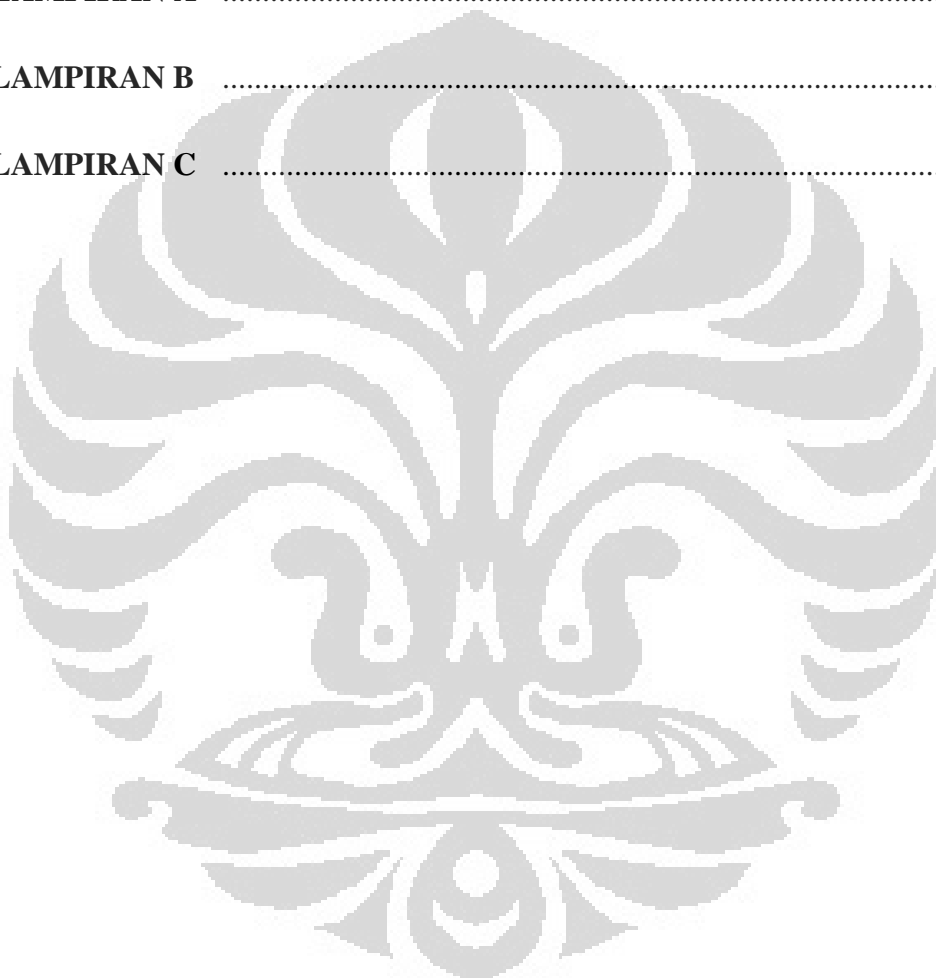
Gambar 2.1	Komponen Tabung Sinar-X	18
Gambar 2.2	Sinyal Generator Pesawat Sinar-X	21
Gambar 3.1	Kalibrasi Detektor CdTe.....	24
Gambar 3.2	Pengukuran Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Detektor CdTe	24
Gambar 3.3	Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> Menggunakan Unfors	26
Gambar 3.4	Pengukuran Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> Menggunakan Detektor CdTe	27
Gambar 3.5	Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> Menggunakan Unfors	28
Gambar 4.1	Kurva Kalibrasi Detektor CdTe.....	30
Gambar 4.2	Kalibrasi Spektrum Americium-241 Menggunakan Detektor CdTe	31
Gambar 4.3	Kalibrasi Spektrum Barium-133 Menggunakan Detektor CdTe....	31
Gambar 4.4	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 32kV Menggunakan Detektor CdTe	33
Gambar 4.5	Sinyal Tegangan 32kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	33
Gambar 4.6	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 50kV Menggunakan Detektor CdTe.....	37
Gambar 4.7	Sinyal Tegangan 50kV <i>Constant Potential</i> Menggunakan Unfors	37
Gambar 4.8	Efisiensi Detektor CdTe	42

Gambar A.1	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 42kV Menggunakan Detektor CdTe	45
Gambar A.2	Sinyal Tegangan 42kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	45
Gambar A.3	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 52kV Menggunakan Detektor CdTe	47
Gambar A.4	Sinyal Tegangan 52kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	47
Gambar A.5	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 62kV Menggunakan Detektor CdTe	49
Gambar A.6	Sinyal Tegangan 62kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	49
Gambar A.7	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 71kV Menggunakan Detektor CdTe	51
Gambar A.8	Sinyal Tegangan 71kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	51
Gambar A.9	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 81kV Menggunakan Detektor CdTe	53
Gambar A.10	Sinyal Tegangan 81kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	53
Gambar A.11	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 91kV Menggunakan Detektor CdTe	55
Gambar A.12	Sinyal Tegangan 91kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	55
Gambar A.13	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Single Phase</i> pada 102kV Menggunakan Detektor CdTe	57
Gambar A.14	Sinyal Tegangan 102kV Generator <i>Single Phase</i> pada Unfors.....	57
Gambar B.1	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 60kV Menggunakan Detektor CdTe.....	59
Gambar B.2	Sinyal Tegangan 60kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	59
Gambar B.3	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 70kV Menggunakan Detektor CdTe.....	60

Gambar B.4	Sinyal Tegangan 70kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	60
Gambar B.5	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 80kV Menggunakan Detektor CdTe.....	61
Gambar B.6	Sinyal Tegangan 80kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	61
Gambar B.7	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 90kV Menggunakan Detektor CdTe.....	62
Gambar B.8	Sinyal Tegangan 90kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	62
Gambar B.9	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 100kV Menggunakan Detektor CdTe.....	63
Gambar B.10	Sinyal Tegangan 100kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	63
Gambar B.11	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 120kV Menggunakan Detektor CdTe.....	64
Gambar B.12	Sinyal Tegangan 120kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	64
Gambar B.13	Pengukuran Spektrum Sinar-X Generator <i>Constant Potential</i> pada 150kV Menggunakan Detektor CdTe.....	65
Gambar B.14	Sinyal Tegangan 150kV Generator <i>Constant Potential</i> pada Unfors	65

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	45
LAMPIRAN B	59
LAMPIRAN C	66



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas energi sinar -X umumnya dinyatakan dalam bentuk nilai tegangan yang digunakan dalam tabung pesawat. Semakin besar tegangan tabung, akan semakin tinggi energi sinar-X yang dipancarkan. Misalnya tabung yang dioperasikan pada tegangan puncak 100.000 volt atau 100kV, energi maksimum yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X adalah 100keV. Namun kenyataannya hanya sebagian kecil dari pesawat sinar-X yang dapat mencapai energi tersebut.

Tidak semua energi elektron diubah menjadi energi sinar-X, sehingga energi efektif sinar-X selalu lebih kecil dari beda potensial dikalikan dengan muatan elementer. Oleh sebab itu, dalam kaitannya dengan penentuan energi sinar-X, kita tidak bisa hanya mengandalkan pada penunjukan skala kV *peak* tabung sinar-X. Disamping itu, nilai tegangan puncak yang ditunjukkan oleh pesawat belum tentu sama dengan tegangan tabung sinar-X. Perbedaan itu dapat disebabkan oleh usia komponen elektronik maupun cacat pada target, sehingga diperlukan adanya pengecekan rutin maupun penelitian khusus untuk mengukur kualitas keluaran pesawat sinar-X.

Kelayakan kualitas radiasi keluaran suatu pesawat sinar-X dapat dievaluasi dengan cara membandingkan HVL bahan filter yang diperoleh dari pengukuran dengan HVL standar untuk jenis bahan dan tegangan puncak yang sama. Sebagai acuan untuk mengevaluasi kelayakan kualitas radiasi keluaran pesawat sinar-X, badan tenaga atom internasional IAEA membagi pesawat sinar-X untuk keperluan diagnostik menjadi sinar-X berenergi rendah dan menengah.

Pengawasan serta kontrol terhadap tabung dan pembangkit sinar-X merupakan bagian terpenting dalam program *quality assurance*. Puncak tegangan tinggi dari pesawat sinar-X menentukan kualitas gambar dan diagnosa yang merupakan target penting yang harus diperhatikan, sehingga kalibrasi terhadap pesawat sinar-X sangat perlu dilakukan.

Pengukuran terhadap pesawat sinar-X bertujuan untuk memastikan bahwa pesawat dapat di digunakan agar dosis yang diterima oleh pasien sesuai dengan yang diharapkan. Perubahan pada nilai tegangan puncak dapat menyebabkan perubahan dosis yang signifikan yang diterima oleh pasien.

1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dicari jawabannya adalah untuk mengetahui spektrum pesawat sinar-X dengan menggunakan dua jenis generator, yaitu *constant potential* dan *single phase*. Pengukuran ini akan membandingkan hasil yang dilakukan dengan menggunakan detektor CdTe.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah mengukur spektrum pesawat sinar-X generator *constant potential* dan *single phase*.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, untuk melakukan pengukuran spektrum pesawat sinar-X generator *constant potential* dan *single phase*, digunakan beberapa sumber standar yaitu: Americium -241 dan Barium-133. Detektor yang digunakan adalah CdTe.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari tahapan-tahapan sebagai berikut:

a. Kalibrasi spektroskopi

Kalibrasi dilakukan terhadap beberapa sumber standar yang akan digunakan. Pengukuran akan menggunakan software ADMCA untuk

detektor CdTe. Pada tahap ini dilakukan pengukuran korelasi antara channel dan energi sumber radiasi.

b. Pengambilan Data

Spektroskopi digunakan untuk mengukur tegangan tabung di laboratorium kalibrasi BATAN Mampang. Pada tahap ini dilakukan beberapa perlakuan yang berbeda terhadap detektor yang digunakan untuk mengukur dosis sinar-X. Dosis yang didapat harus dibatasi intensitasnya dengan cara pemberian filter, perubahan kolimator dan variasi jarak antara detektor dan sumber sinar-X. Pengukuran juga dilakukan di PTKMR BATAN Pasar Jumat. Data yang didapat dari hasil pengukuran di dua tempat yang berbeda itu akan dibandingkan.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB I. PENDAHULUAN

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

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini penulis menguraikan mengenai perkembangan sistem *quality assurance* sinar -X yang berkembang akhir-akhir ini. Dalam bagian ini juga akan dibahas teori-teori yang mendasarinya.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi jабaran lengkap mengenai langkah-langkah, alat dan bahan, perhitungan, dan proses selama penelitian dilaksanakan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

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 II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Atom

Sebuah atom terdiri dari elektron yang bermuatan negatif, proton yang bermuatan positif dan neutron yang tidak bermuatan. Proton dan neutron terdapat pada nukleus atom, sementara elektron mengorbit mengelilingi nukleus. Elektron yang mengorbit mengelilingi nukleus mengalami dua jenis gaya yang berlawanan, yaitu gaya elektrostatis dan gaya sentrifugal. Gaya elektrostatis akan menyebabkan elektron mengalami gaya tarik terhadap proton yang berada di nukleus atom, sementara gaya sentrifugal akan menyebabkan elektron keluar dari lintasan orbitnya. Keseimbangan antara gaya elektrostatis dan sentrifugal menyebabkan elektron tetap berada pada lintasan orbitnya. Elektron yang berada pada orbit yang paling dekat dengan nukleus akan mengalami gaya elektrostatis lebih besar dibandingkan elektron yang berada pada orbit terluar. Semakin tinggi nomor atom maka gaya elektrostatis yang dialami oleh elektron akan semakin besar.

2.2 Radiasi Elektromagnetik

Sinar-X merupakan salah satu contoh radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik terjadi akibat interaksi medan listrik dan medan magnet. Dalam kehidupan sehari-hari, secara sadar atau tidak kita selalu berinteraksi dengan radiasi elektromagnetik ini. Beberapa contoh dari radiasi elektromagnetik ini adalah gelombang radio, gelombang televisi, cahaya tampak, gelombang mikro, sinar-X, sinar gamma dan gelombang kosmik. Radiasi elektromagnetik bergerak dalam bentuk gelombang dengan kecepatan cahaya. Tiap jenis gelombang elektromagnetik ini memiliki panjang gelombang dan frekuensi yang berbeda. Semakin pendek panjang gelombangnya maka semakin banyak jumlah frekuensi dan energi gelombang tersebut akan semakin besar.

2.3 Karakteristik Sinar-X

Sinar-X memiliki beberapa karakteristik, yaitu:

1. Sinar-X merupakan sebuah gelombang yang memiliki energi yang besar, panjang gelombang yang pendek dan bergerak dengan kecepatan cahaya.
2. Sinar-X tidak bermassa dan tidak bermuatan.
3. Sinar-X tidak dapat dilihat oleh mata manusia.
4. Sinar-X bergerak secara garis lurus.
5. Sinar-X dapat menyebabkan beberapa material tertentu mengalami flourosensi.

Dalam bidang kesehatan, sinar-X digunakan untuk mendiagnosa penyakit. Selain bermanfaat, Sinar-X juga berbahaya bagi jaringan tubuh. Dengan alasan ini, biasanya ruangan pesawat sinar-X didesain sedemikian rupa agar pancaran radiasinya tidak membahayakan manusia yang berada disekitar pesawat tersebut.

Pesawat sinar-X memiliki tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X yang menghasilkan sinar-X, lengan atau pengatur posisi pesawat serta kontrol panel yang berfungsi untuk mengatur jumlah arus, kV *peak*, serta waktu penyinaran.

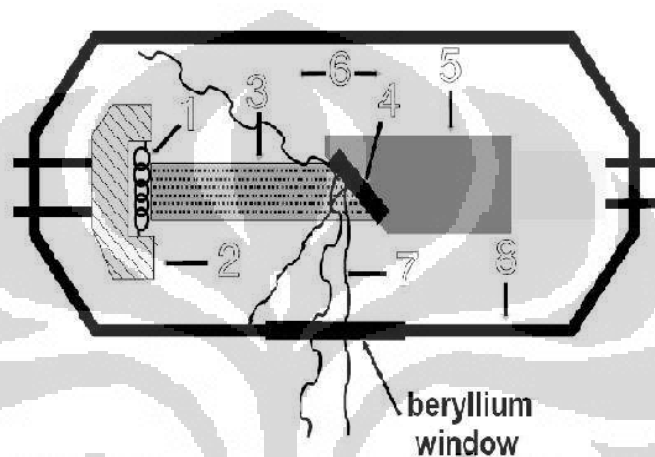
2.4 Komponen Pesawat Sinar-X

2.4.1 Tabung Sinar-X

Sinar-X dihasilkan di tabung sinar-X ketika elektron dari filamen berinteraksi dengan material logam yang biasa disebut target. Komponen utama dari tabung sinar-X ini adalah bagian katoda dan anoda. Bagian katoda merupakan filamen tungsten yang berada pada *focusing cup*. Elektron dihasilkan oleh filamen dan difokuskan terhadap target di anoda. Ketika kita menekan tombol ekposur, maka arus listrik mengalir ke filament ini sehingga menyebabkan filament tersebut menjadi panas. Filamen yang panas ini akan menghasilkan elektron yang berada disekitar filamen. Semakin panas filamen maka jumlah elektron yang dihasilkan akan semakin banyak.

Pada bagian anoda, terdapat target tungsten yang dilekatkan pada sebuah batang tembaga. Ketika elektron dari filamen menumbuk target dan dihasilkan sinar-X, disaat itu akan dihasilkan panas berlebih. Batang tembaga tersebut akan menyerap sebagian panas yang dihasilkan sehingga target tidak mengalami kelebihan panas.

X-ray Tube Components



[Sumber: Robert M. Jayness. X-rays Production. The Ohio State University.]

Gambar 2.1 Komponen tabung sinar-X

Tabung sinar-X terdiri dari beberapa komponen utama yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Filamen yang melepaskan elektron ketika menjadi panas.
2. *Focusing cup* yang berfungsi memfokuskan elektron ke target.
3. Elektron bergerak dari filamen ke target.
4. Target agar sinar-X dapat dihasilkan ketika berinteraksi dengan elektron.
5. Batang tembaga yang dilekatkan dengan target yang berfungsi membantu menyerap kelebihan panas pada target.

6. Ruang vacum supaya tidak ada elektron yang berinteraksi dengan udara ataupun gas lainnya.
7. Sinar-X yang dihasilkan.
8. *Leaded glass* untuk mencegah hamburan sinar-X pada arah yang tidak dikehendaki.
9. Jendela beryllium yang menjadi tempat keluarnya sinar-X dari tabung.

2.4.2 Kontrol Panel Pesawat Sinar-X

Pada bagian ini terdapat beberapa tombol yang berfungsi untuk mengatur kualitas berkas sinar-X yang akan dihasilkan, yaitu:

1. Timer yang berfungsi untuk mengatur lamanya waktu exposure.
2. Milliampere (mA) selector untuk menentukan berapa jumlah arus yang dialirkan ke filament yang berada di katoda. Semakin tinggi nilai mA maka filament akan semakin panas dan jumlah elektron yang dihasilkan akan semakin banyak.
3. Kilo volt *peak* (kVp) control untuk menentukan tegangan yang akan digunakan. Semakin tinggi tegangan yang digunakan maka akan semakin besar energi elektron yang dihasilkan saat menumbuk target.

2.5 Produksi Sinar-X

Disaat elektron berinteraksi atau menumbuk target, maka akan dihasilkan sinar-X dalam dua cara, yaitu *bremmstrahlung* dan sinar-X karakteristik. *Bremmstrahlung* terjadi jika elektron yang bergerak dari filamen diperlambat ketika melewati dekat dari nukleus atom target. *Bremmstrahlung* juga akan terjadi ketika elektron menumbuk nukleus atom pada target. Semakin dekat elektron yang bergerak dari filament ke nukleus atom target maka elektron tersebut akan semakin diperlambat. Semakin cepat elektron yang bergerak menumbuk target maka energi sinar-X yang dihasilkan akan semakin besar.

Sinar-X karakteristik terjadi ketika elektron dari filament berinteraksi dengan elektron yang terdapat pada target. Elektron filament menumbuk elektron yang berada pada lintasan orbit pada atom target sehingga terlepas dari lintasannya. Kekosongan elektron yang terjadi pada lintasan orbit tersebut segera diisi oleh elektron lain yang berada pada lintasan luar. Elektron yang berada pada orbit lintasan luar tersebut akan melepaskan energinya karena adanya perbedaan energi pada masing-masing elektron. Pelepasan energi inilah yang menghasilkan sinar-X karakteristik.

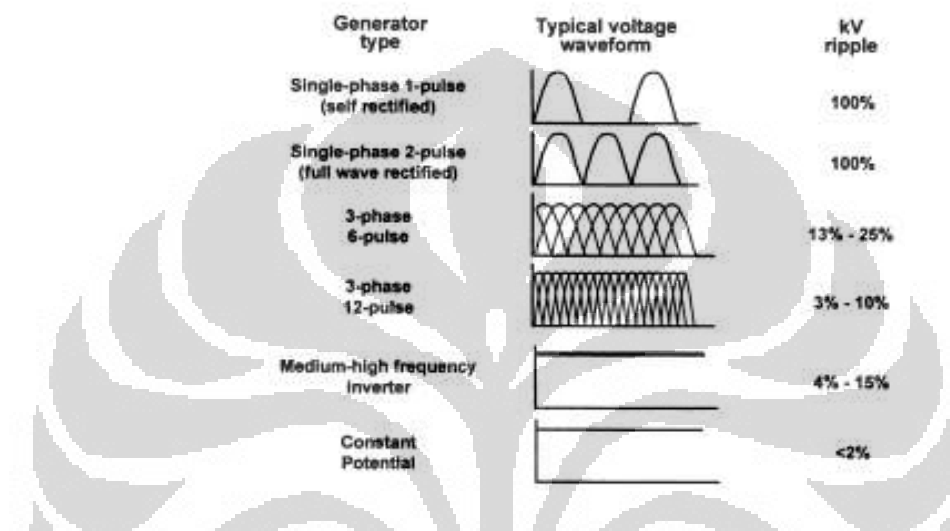
2.6 Faktor Yang Mempengaruhi Kualitas Sinar-X

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas dari sinar-X yang akan dihasilkan, yaitu:

1. Kilovolt *peak* (kVp) yang mengontrol kualitas energi sinar-X yang dihasilkan. Semakin tinggi nilai kV *peak* maka semakin besar energi sinar-X yang dihasilkan.
2. Miliampere (mA) yang mempengaruhi panas pada filament. Semakin panas filament maka akan semakin banyak elektron yang dipancarkan, semakin banyak elektron yang akan menumbuk target dan semakin besar kuantitas sinar-X yang dihasilkan. Miliampere ini tidak mempengaruhi energi dari sinar-X.
3. Waktu *exposure* akan mempengaruhi kuantitas sinar-X. Meningkatkan waktu *exposure* akan menaikkan kuantitas sinar-X yang dihasilkan. Waktu *exposure* ini juga tidak mempengaruhi energi dari sinar-X.
4. Filtrasi yang digunakan untuk menghilangkan sinar-X energi rendah, karena sinar-X energi rendah ini tidak berkontribusi terhadap kualitas citra yang dihasilkan. Penambahan filtrasi tidak mempengaruhi energi maksimum berkas sinar-X.
5. Kolimator untuk mengatur luas bidang penyinaran.
6. Generator sinar-X yang mempengaruhi kualitas sinar-X serta waktu eksposur.

2.7 Generator Pesawat Sinar-X

Saat ini ada empat jenis generator pada pesawat sinar-X, yaitu *single phase*, *three phase*, *high frequency* dan *constant potential*. Namun pada kesempatan ini penulis hanya membahas tentang *single phase* dan *constant potential*.



[Sumber:Anthony Seibert. X-rays Generator. The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents. Volume 17, halaman 1533-157.]

Gambar 2.2 Sinyal generator pesawat sinar-X

Pada generator *single phase*, sinyal tegangannya memiliki ripple 100% sementara pada *constant potential* memiliki ripple kurang dari 2%. Generator *single phase* biasanya banyak menghasilkan sinar-X energi rendah yang tidak dibutuhkan dalam pembentukan kualitas gambar yang bagus karena energi sinar-X ini akan terserap oleh tubuh pasien. Sehingga dibutuhkan exposure yang lebih tinggi jika menggunakan generator ini. Generator *single phase* juga membutuhkan waktu eksposur yang lebih lama dibandingkan generator *constant potential*. Kelebihan generator *constant potential* adalah memiliki waktu exposure yang lebih singkat dan dosis exposure yang diterima pasien lebih sedikit dibandingkan generator *single phase*. Namun generator ini memiliki ukuran yang lebih besar dan biaya yang lebih mahal.

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran terhadap pesawat sinar-X generator *single phase* dan *constant potential*. Sebelum dilakukan penelitian, perlu dipersiapkan peralatan yang akan digunakan, termasuk mengkalibrasi detektor serta instalasi *software* pendukung.

3.1 Peralatan

Dalam pengukuran spektrum pesawat sinar-X ini, digunakan detektor CdTe. Untuk mengkalibrasi detektor CdTe digunakan sumber standar americium-241 yang diperoleh dari Laboratorium Fisika Medis departemen Fisika, FMIPA Universitas Indonesia dan sumber standar Barium-133 yang dimiliki oleh PTKMR BATAN. *Software* yang digunakan dalam proses kalibrasi serta pengukuran adalah ADMCA Amptek. Selain detektor tersebut, juga digunakan detektor unfors dan *software* Xiview sebagai objek detektor yang akan dikalibrasi. Pesawat sinar-X yang diukur adalah pesawat sinar-X *single phase* Toshiba D-124 dan pesawat sinar-X *constant potential* BATAN Mampang.

3.2 Metode Penelitian

3.2.1 Kalibrasi Detektor CdTe

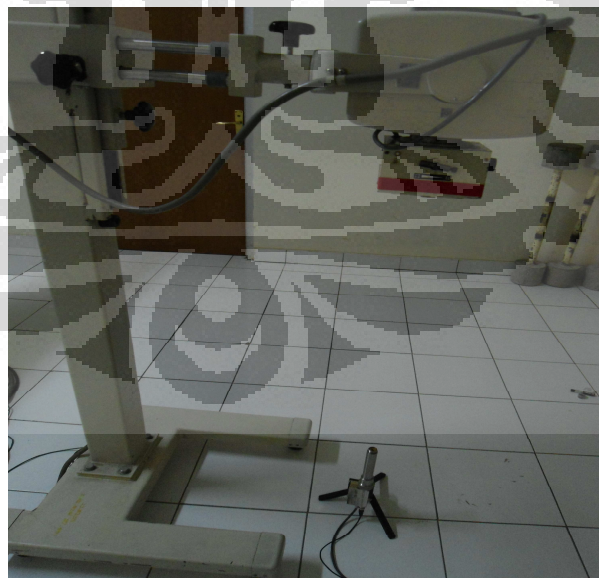
Detektor ini dikalibrasi menggunakan sumber Americium-241 dan Barium-133. Sumber tersebut diletakkan di depan detektor dengan jarak tertentu dan dilakukan pencacahan sampai diperoleh *dead time* rendah dan efisiensi bacaan tinggi. Hal ini dilakukan selama tiga puluh menit untuk satu sumber. Proses ini dilakukan secara berulang agar didapatkan hasil yang baik yang ditandai dengan diperolehnya spektrum dengan geometri yang baik.



Gambar 3.1 Kalibrasi detektor CdTe

3.3 Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X Single Phase

Pengukuran pesawat sinar-X *single phase* dilakukan dalam beberapa tahap. Pertama pengukuran menggunakan detektor CdTe, kemudian dilakukan pengukuran keluaran tegangan pesawat menggunakan detektor Unfors.



Gambar 3.2 Pengukuran pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan detektor CdTe

Pertama pengukuran dilakukan menggunakan detektor CdTe. Detektor diletakkan dibawah tabung sinar-X dengan menghadap ke atas sejajar dengan posisi tabung sinar-X. Sinar laser digunakan untuk mendapatkan posisi detektor yang tegak lurus antara detektor dan sinar-X. Kemudian permukaan detektor harus diatur sedemikian rupa agar permukaannya datar menggunakan waterpass. Hal ini dilakukan agar detektor menerima sumber radiasi primer sinar-X dengan kualitas spektrum sinar-X yang baik. Detektor menggunakan tiga buah kolimator tungsten. Setelah semuanya selesai diatur, kemudian detektor dihubungkan ke laptop untuk dilakukan pengukuran. pengukuran dilakukan dengan variasi tegangan tabung yang berbeda. Waktu eksposur yang digunakan adalah 0,5 sekon dengan jumlah exposure antara 8 sampai 15 kali.

Pada pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* dilakukan mulai dari 32kV, dengan 40mA, 0,5 s dan dilakukan eksposur sebanyak 10 kali. Selanjutnya pada pengukuran 42kV dilakukan dengan 30 mA, 0,5 s dan eksposur sebanyak 10 kali. Pengukuran berikutnya pada 52kV dengan mA 30, waktu 0,5 s dan dilakukan eksposur sebanyak 8 kali. Selanjutnya pada 62 kV dengan 30mA serta waktu 0,5 s dilakukan eksposur sebanyak 8 kali. Untuk pengukuran pada 71 kV dengan 30 mA, waktu 0,5 s dan dilakukan eksposur sebanyak 8 kali. Pada pengukuran 81 kV dilakukan dengan mA 30 dan waktu 0,5 s serta dilakukan eksposur sebanyak 8 kali. Selanjutnya pada pengukuran 91 kV menggunakan skala 20 mA dengan waktu 0,5 s dan dilakukan eksposur sebanyak 10 kali. Terakhir pengukuran dilakukan pada 102kV dengan 10mA dan dilakukan eksposur sebanyak 15 kali.

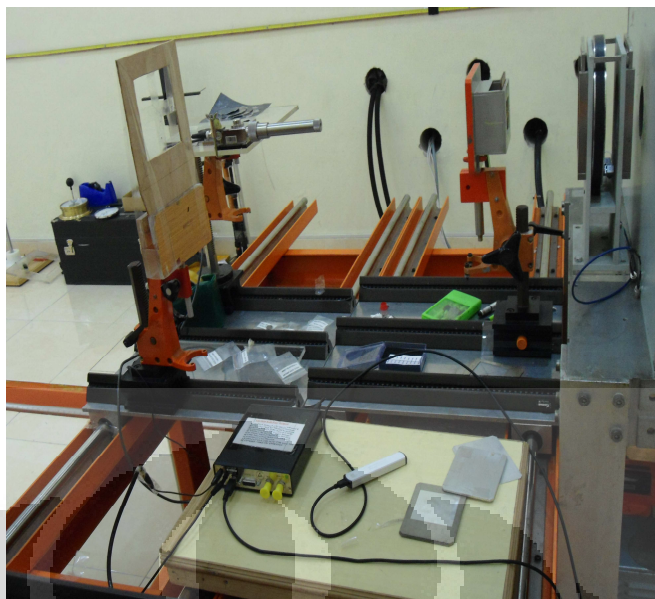


Gambar 3.3 Uji kesesuaian pesawat sinar -X generator *single phase* menggunakan Unfors

Selanjutnya dilakukan pengukuran keluaran tegangan pesawat sinar-X menggunakan detektor Unfors. Pengukuran ini dilakukan pada tiap-tiap tegangan puncak yang telah dilakukan. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap tegangan puncak yang diukur.

3.4 Pengukuran Spektrum Pesawat Sinar-X Constant Potential

Untuk pesawat *constant potential* dilakukan pengukuran HVL terlebih dahulu untuk mengetahui jumlah *added filter* yang digunakan agar sesuai dengan HVL yang dianjurkan. Sama seperti pengukuran pesawat *single phase*, pengukuran dilakukan dengan detektor CdTe dan detektor Unfors.



Gambar 3.4 Pengukuran pesawat sinar -X generator *constant potential* menggunakan detektor CdTe

Pertama pengukuran menggunakan detektor CdTe. Detektor diletakkan di depan tabung sinar-X. Dibutuhkan sinar laser untuk memastikan arah detektor lurus menghadap tabung sinar-X. Setelah semua peralatan terpasang dan dihubungkan ke laptop, kemudian pengukuran dilakukan. Masing-masing dieksposur selama sepuluh menit.

Pada 50kV, dengan filter Al 2,62mm, 1mA dan waktu penyinaran 10 menit. Selanjutnya pengukuran pada 60kV, dengan filter Al 3,1mm, 30mA dan waktu penyinaran selama 10 menit. Pengukuran berikutnya pada 70kV, menggunakan filter Al 3,32mm, 10mA dan waktu penyinaran 10 menit. Kemudian pengukuran pada 80kV dengan menggunakan filter Al 3,4mm, 10mA dan waktu penyinaran 10 menit. Selanjutnya pada 90kV menggunakan filter Al 3,55mm, 1mA dan waktu yang digunakan adalah 10 menit. Pada pengukuran 100kV menggunakan filter Al 3,62mm, 0,5 mA dan waktu penyinaran 10 menit, Kemudian pada pengukuran 120kV menggunakan filter Al 4mm, 1mA dan waktu penyinaran 10 menit. Pengukuran dilanjutkan pada 150kV menggunakan filter Al 5mm, 1mA dan waktu penyinaran selama 10 menit.



Gambar 3.5 Uji kesesuaian pesawat sinar -X generator *constant potential* menggunakan Unfors

Pengukuran dilanjutkan menggunakan detektor Unfors untuk mengetahui tegangan keluaran pesawat yang terbaca oleh detektor.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Kalibrasi Detektor CdTe

Berikut hasil kalibrasi detektor CdTe.

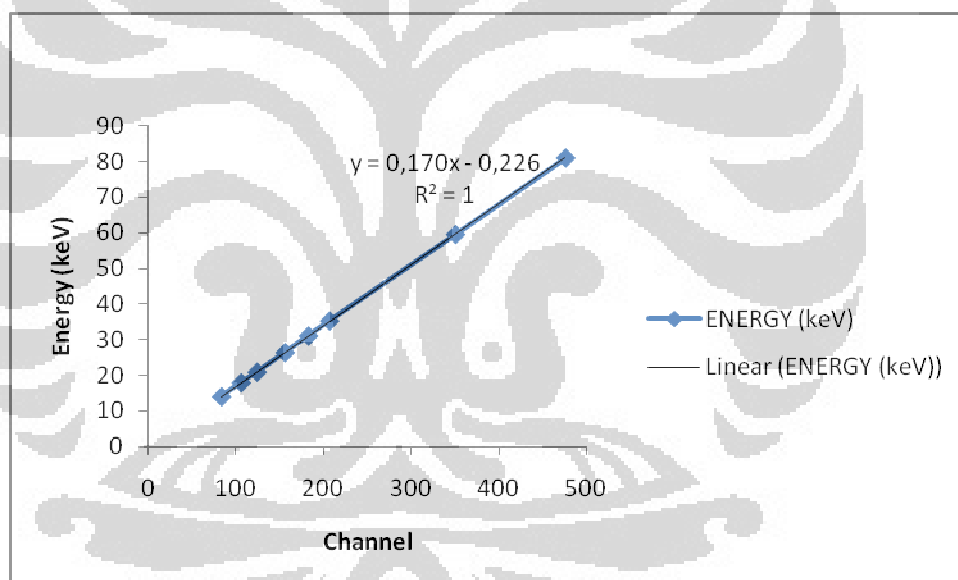
Tabel 4.1 Energy Americium-241 dan Barium-133

No	Sumber	Waktu paruh	Energy (keV)	Probabilitas
1	Am-241	432,2 tahun	13,9	42%
			17,8	19,40%
			20,8	4,90%
			26,3	2,40%
			59,5	35,90%
2	Ba-133	10,51 tahun	30,97	24,60%
			35,2	8,84%
			53	2,80%
			79,6	6,90%
			81	91%
			160	1,80%
			223	0,20%
			276	8,50%
			302	9,20%
			356	75%
			384	4,50%

Pada penelitian ini, untuk mengkalibrasi detektor CdTe digunakan Americium-241 dan Barium-133. Penggunaan kedua sumber ini karena Americium-241 merupakan *emitter* sinar-X sementara Barium-133 memancarkan sinar-X energi rendah. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa Americium-241 dan Barium-133 memiliki banyak energi yang dipancarkan sehingga dapat digunakan untuk mengkalibrasi detektor pada *range* energi rendah.

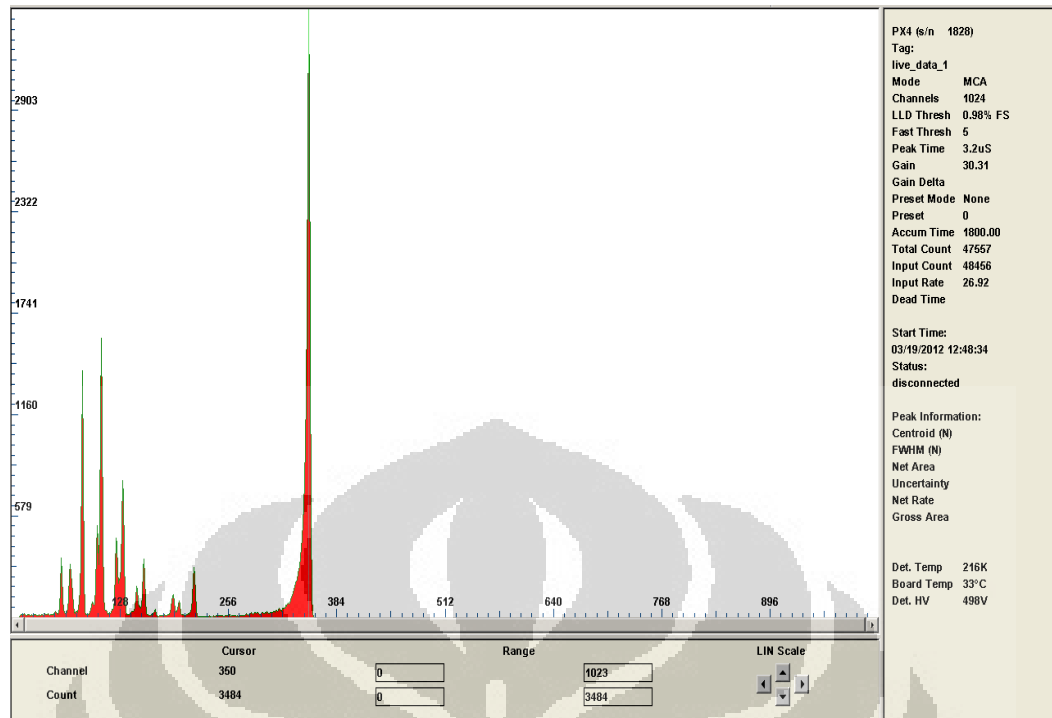
Tabel 4.2 Hasil kalibrasi detektor CdTe

Sumber	Channel	Energy keV
Am-241	83	13,9
Am-241	105	17,8
Am-241	123	20,8
Am-241	155	26,3
Ba-133	182	30,97
Ba-133	207	35,2
Am-241	350	59,5
Ba-133	476	81

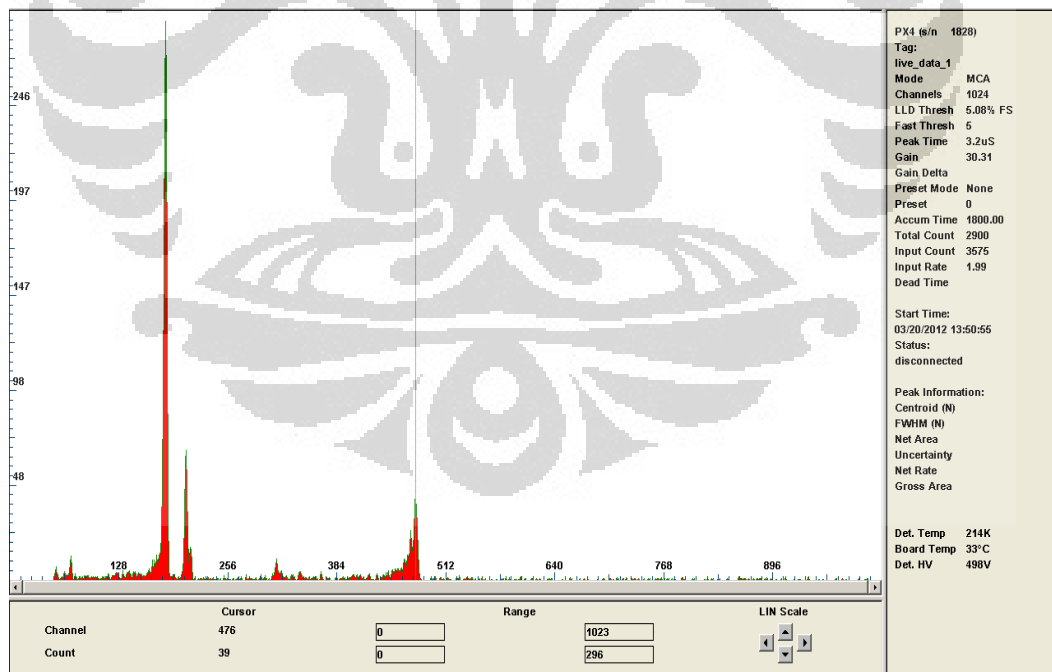


Gambar 4.1 Kurva kalibrasi detektor CdTe

Detektor CdTe dikalibrasi dengan mengacu pada tabel energi Americium-241 dan Barium-133. Sumber radiasi diletakkan di depan detektor CdTe kemudian dilakukan pencacahan selama 30 menit sampai diperoleh spektrum dengan geometri yang baik dengan *dead time* rendah dan efisiensi bacaan yang tinggi.



Gambar 4.2 Kalibrasi spektrum americium-241 menggunakan detektor CdTe



Gambar 4.3 Kalibrasi spektrum barium-133 menggunakan detektor CdTe

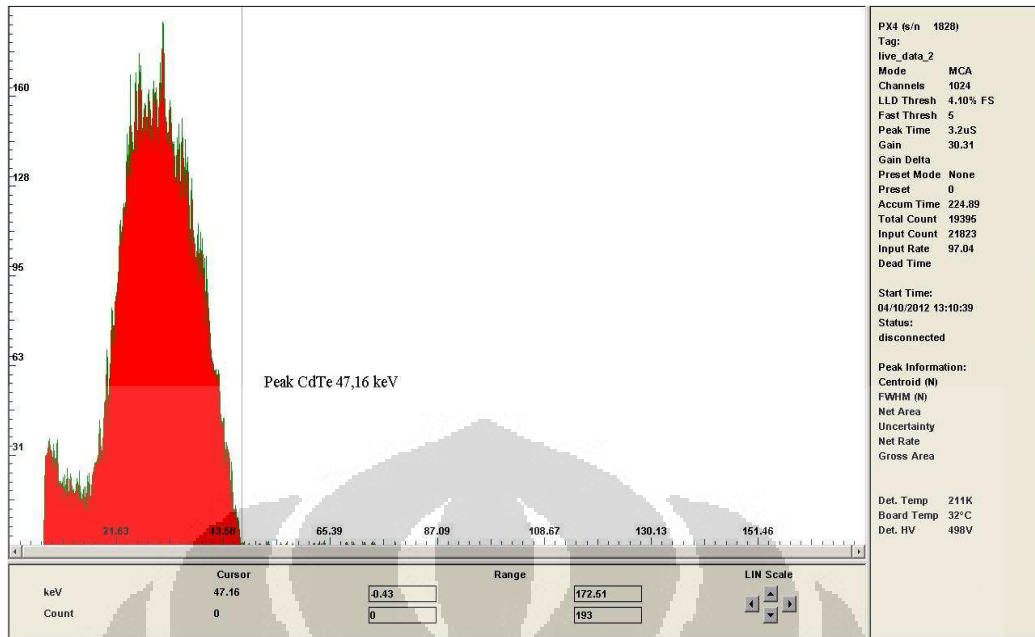
Kemudian posisi beberapa energi yang telah diketahui nilainya itu dicatat nomor *channel*-nya. Selanjutnya nilai energi dan nomor *channel* tersebut dimasukkan ke dalam kolom kalibrasi pada *software* ADMCA yang digunakan. Kemudian hasilnya diplot sehingga diperoleh grafik hubungan energi dan *channel* beserta persamaan regresinya. Pada *software* ADMCA, proses kalibrasi ini dilakukan oleh sistem secara otomatis setelah nilai energi dan *channel* dimasukkan sehingga nilai *channel* bisa langsung dikonversikan ke dalam energi.

4.2 Hasil Pengukuran Pesawat Sinar-X *Single Phase*

Hasil pengukuran dengan menggunakan detektor CdTe dan Unfors adalah sebagai berikut:

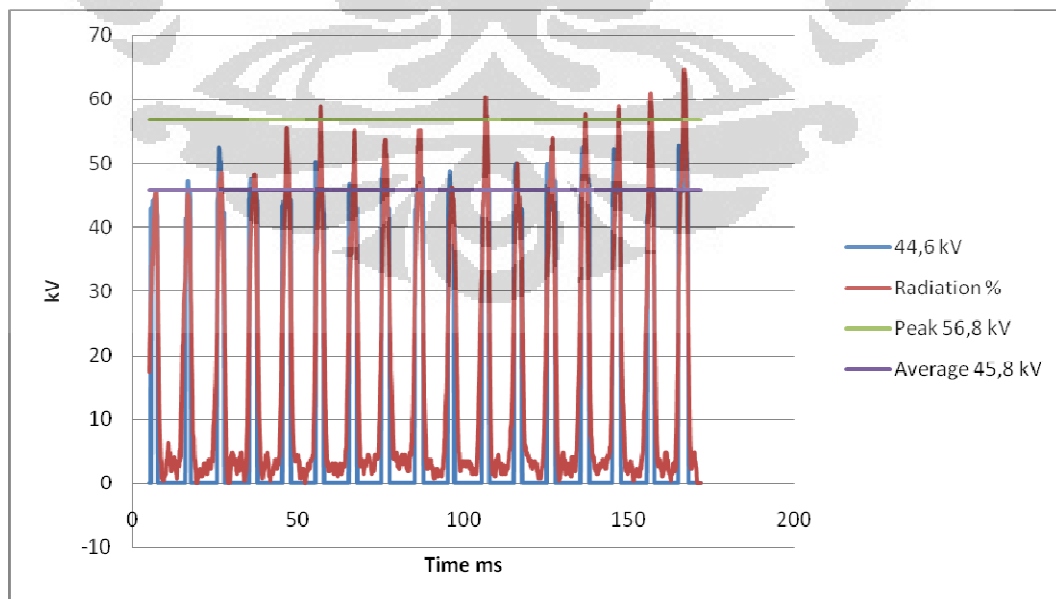
Tabel 4.3 Nilai HVL pesawat sinar-X generator *single phase*

No	kV <i>peak</i>	HVL
1	32	1,41 mmAl
2	42	1,51 mmAl
3	52	1,64 mmAl
4	62	1,78 mmAl
5	71	2,00 mmAl
6	81	2,33 mmAl
7	91	2,73 mmAl
8	102	2,96 mmAl



Gambar 4.4 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 32kV menggunakan detektor CdTe

Pada pengukuran spektrum pesawat sinar-X generator *single phase* di atas, untuk tegangan tabung 32 kV *peak*, detektor CdTe mendeteksi nilai energi sinar-X pada 47,16 keV. Terlihat penyimpangan nilai kV *peak* yang terukur sangat besar. Hal ini dapat dijelaskan menggunakan gambar keluaran tegangan tabung sinar-X yang dideteksi oleh detektor unfors di bawah ini.



Gambar 4.5 Sinyal tegangan 32kV generator *single phase* pada Unfors

Dari gambar di atas terlihat bahwa tegangan tabung pesawat sinar-X generator *single phase* berfluktuasi menyebabkan nilai kV *peak* yang terdeteksi oleh detektor CdTe menyimpang dari yang seharusnya. Pada pengukuran tegangan tabung 32 kV, nilai yang terdeteksi oleh detektor Unfors adalah sebesar 44,6 kV. Hal ini terjadi karena adanya *ripple* tegangan 100% pada generator *single phase*, sehingga nilai kV *peak* yang terdeteksi oleh detektor CdTe berbeda.

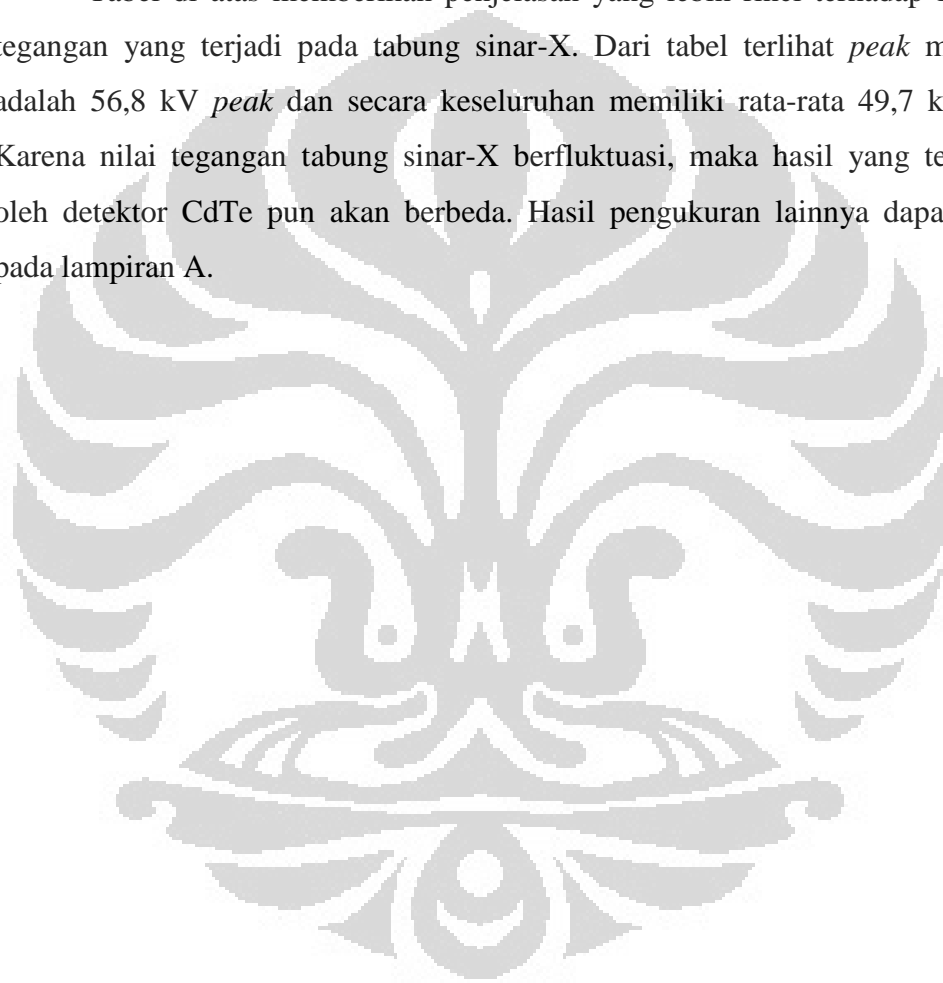
Tabel 4.4 Puncak tegangan pada 32kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

No	Puncak tegangan (kV)
1	44,4
2	47,3
3	52,4
4	47,6
5	47,6
6	50,4
7	46,8
8	49,3
9	47,7
10	48,7
11	49,1
12	50,1
13	50
14	52,6
15	52,1
16	52,6
17	56,8
rata-rata	49,7

Tabel 4.5 Hasil pengukuran 32kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
32	44,6	56,8	44,4	49,7

Tabel di atas memberikan penjelasan yang lebih rinci terhadap fluktuasi tegangan yang terjadi pada tabung sinar-X. Dari tabel terlihat *peak* maksimal adalah 56,8 kV *peak* dan secara keseluruhan memiliki rata-rata 49,7 kV *peak*. Karena nilai tegangan tabung sinar-X berfluktuasi, maka hasil yang terdeteksi oleh detektor CdTe pun akan berbeda. Hasil pengukuran lainnya dapat dilihat pada lampiran A.



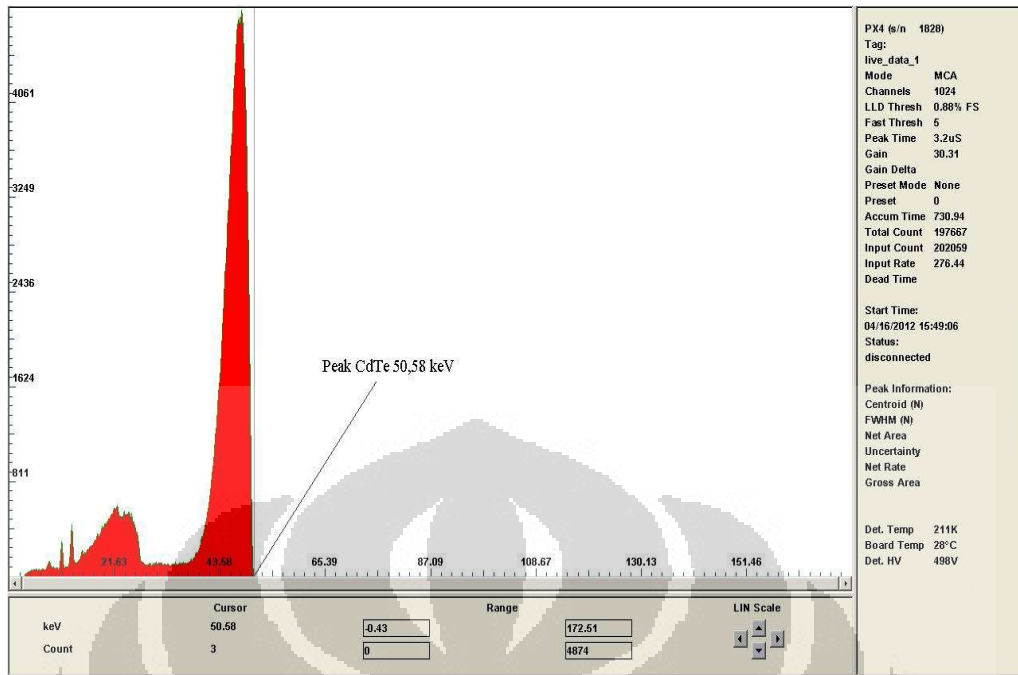
4.3 Hasil Pengukuran Pesawat Sinar-X *Constant Potential*

Pengukuran pada pesawat sinar-X *constant potential*, sebelumnya diukur terlebih dahulu HVL dan total filter yang digunakan.

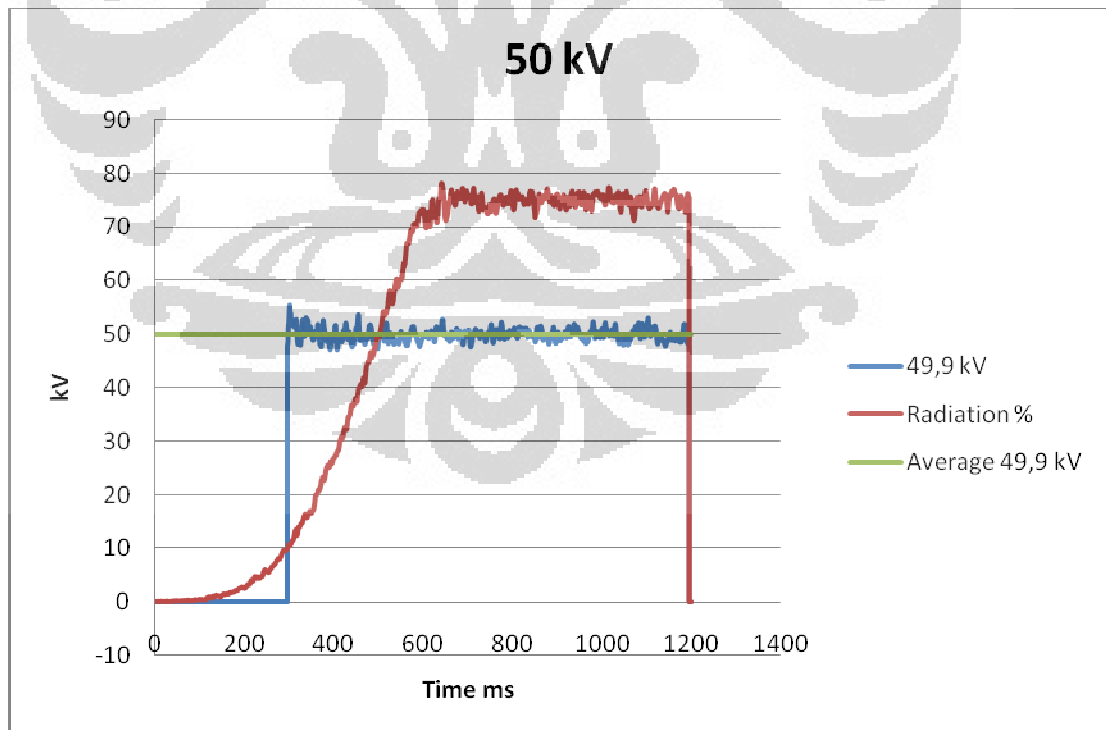
Tabel 4.6 Perolehan total filter pada kualitas radiasi RQR

Kualitas radiasi	Tegangan tabung sinar-X (kV)	HVL (mmAl)	Total filter (mmAl)
RQR 3	50	1,78	2,62
RQR 4	60	2,19	3,1
RQR 5	70	2,58	3,32
RQR 6	80	3,01	3,4
RQR 7	90	3,48	3,55
RQR 8	100	3,97	3,62
RQR 9	120	5	4
RQR 10	150	6,57	5

Sebelum dilakukan pengambilan data, terlebih dahulu ditentukan nilai HVL berdasarkan RQR pada tiap-tiap tegangan tabung pesawat sinar-X yang digunakan. Hal ini bertujuan untuk memfilter spektrum sinar-X energi rendah. Dalam penelitian ini, sinar-X energi rendah tidak diperlukan dalam mengevaluasi spektrum pesawat sinar-X yang terdeteksi oleh detektor.



Gambar 4.6 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 50kV menggunakan detektor CdTe



Gambar 4.7 Sinyal tegangan 50kV *constant potential* menggunakan Unfors

Pada gambar di atas, saat tegangan tabung yang tertera pada panel pesawat sinar-X 50 kV, detektor CdTe mendeteksi pada energi 50,58 keV, sementara pada detektor Unfors sebesar 49,9 kV. Hal ini menunjukkan kesesuaian antara nilai yang tertera pada panel pesawat sinar-X *constant potential* dengan detektor CdTe dan Unfors. Kesesuaian nilai kV *peak* ini karena pada generator *constant potential*, *ripple* tegangan tabung sangat kecil yaitu kurang dari 2%, sehingga penyimpangan nilai kV *peak* tidak sebesar penyimpangan pada generator *single phase*.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran 50kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
50	49,9	50,58	0,99

Dari tabel terlihat disaat nilai kV *peak* yang tertera pada panel pesawat 50kV, nilai yang terdeteksi oleh detektor unfors adalah 49,9 kV, sementara pada detektor CdTe terdeteksi pada energi 50,58 keV. Hasil pengukuran antara nilai tegangan tabung pesawat dengan yang terdeteksi oleh detektor CdTe memiliki rasio 0,99, yang artinya nilai yang tertera pada panel pesawat sesuai dengan hasil yang terdeteksi oleh detektor CdTe.

4.4 Pembahasan

Secara umum, hasil pengukuran terhadap pesawat sinar-X generator *single phase* dapat dilihat dari tabel berikut:

Tabel 4.8 Hasil pengukuran spektrum pesawat sinar-X generator *single phase*.

puncak tegangan rata-rata	puncak tegangan CdTe	Rasio puncak tegangan rata-rata/ puncak tegangan CdTe
49,7	47,16	1,05
55,7	52,28	1,06
66,8	63,52	1,05
77,5	79,82	0,97
87,2	84,05	1,04
103,6	96,55	1,07
117,8	101,6	1,16
136,5	110,52	1,24
	Rasio rata-rata	1,08

Pada generator *single phase* kV *peak* yang keluar berfluktuasi menyebabkan nilai bacaan kV *peak* menyimpang dari seharusnya, sedangkan tegangan panel selalu konstant sehingga kV *peak* yang terdeteksi oleh detektor CdTe harus dikoreksi.

Untuk mengoreksi bacaan kV *peak* CdTe maka rasio rata-rata harus dikalikan terhadap kV *peak* yang terdeteksi oleh CdTe. Hal ini dilakukan karena detektor CdTe mengukur kV *peak* yang dikeluarkan oleh tabung sinar-X, bukan kV *peak* rata-rata. Perbedaan nilai kV *peak* pada pesawat *single phase* ini karena dipengaruhi oleh *ripple*, sehingga kV *average* akan berbeda dengan kV *peak*.

Hasil pengukuran terhadap pesawat sinar-X generator *constant potential* dapat dirangkum melalui tabel berikut:

Tabel 4.9 Hasil pengukuran spektrum pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
50	49,9	50,58	0,99
60	60,2	59,95	1
70	70,5	69,98	1
80	81	79,99	1
90	91,3	89,8	1
100	101,4	99,92	1
120	121,3	124,41	0,96
150	153,3	153,33	0,98
Rasio rata-rata			0,99

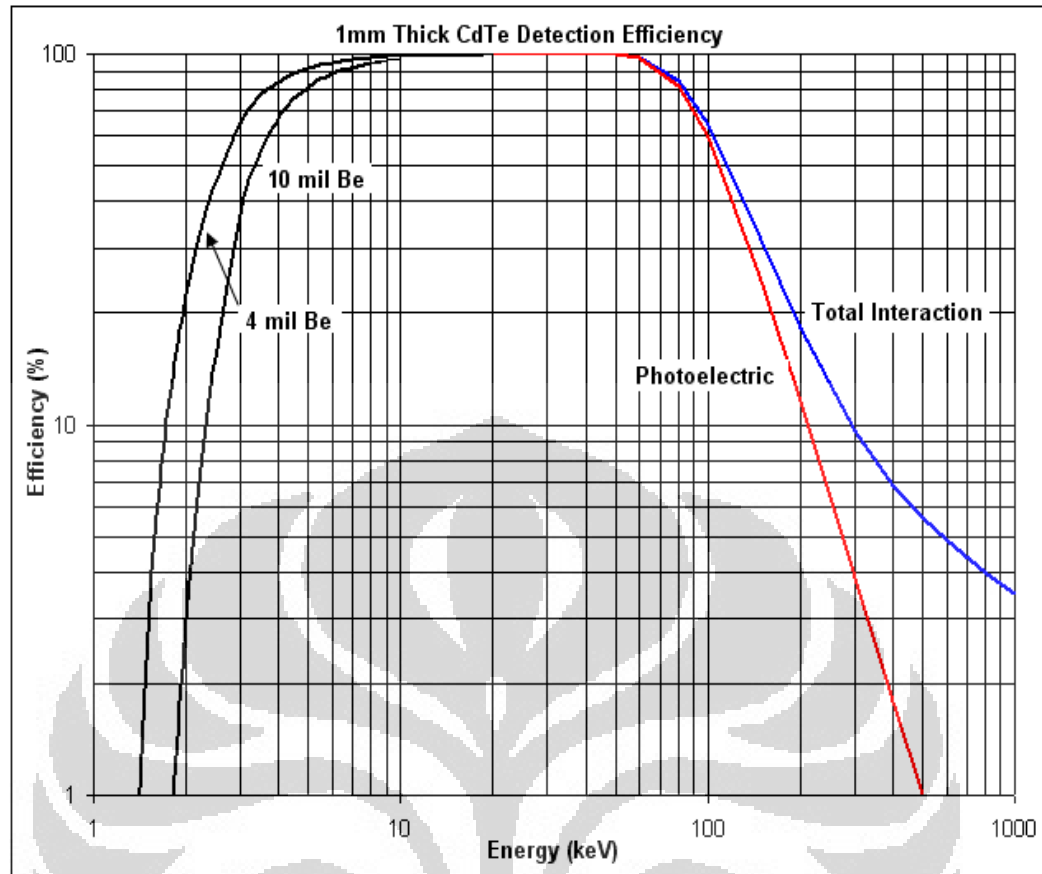
Pada generator *constant potential* menunjukkan hasil bacaan detektor CdTe mendekati hasil yang terbaca oleh detektor Unfors. Hal ini karena pada generator *constant potential* ripple-nya kecil dari 2%.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat kita lihat bahwa pengukuran terhadap pesawat sinar-X generator *single phase* memiliki rata-rata penyimpangan nilai kV yang lebih besar, sementara pada generator *constant potential* lebih kecil. Hal ini terjadi karena pada generator *single phase* mengalami *ripple* tegangan yang 100%, sementara pada *constant potential* lebih kecil dari 2%. Selanjutnya, fluktuasi tegangan juga mempengaruhi hasil bacaan spektrum sinar-X oleh detektor CdTe, semakin besar penyimpangan kV *peak* maka akan semakin besar pula penyimpangan bacaan pada detektor CdTe.

Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi hasil deteksi nilai kV oleh detektor CdTe adalah intensitas. Semakin tinggi intensitas maka *dead time* detektor akan makin tinggi sehingga mempengaruhi hasil pengukuran. *Dead time*

merupakan waktu yang diperlukan oleh detektor untuk mengubah radiasi yang masuk menjadi sinyal listrik. Jika jarak waktu antara dua radiasi yang masuk secara berurutan lebih cepat daripada waktu yang dibutuhkan detektor untuk mengkonversi menjadi sinyal listrik, maka radiasi tersebut tidak akan terdeteksi dengan baik. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan cara menurunkan nilai mA, menggunakan kolimator, menambah jarak antara detektor dan sumber radiasi serta menggunakan filter.

Dari penelitian ini dapat dilihat bahwa pengukuran spektrum menggunakan detektor CdTe untuk kV diatas 120 kV hasilnya kurang bagus. Karena untuk rentang energi ini intensitasnya tinggi, sehingga perlu filter tambahan yang tebal. Selain itu hal ini juga dipengaruhi oleh efisiensinya dan energi resolusi dari detektor CdTe. Efisiensi detektor adalah suatu nilai yang menunjukkan perbandingan antara jumlah pulsa listrik yang dihasilkan detektor terhadap jumlah radiasi yang diterimanya. Nilai efisiensi detektor sangat ditentukan 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.



Gambar 4.8 Efisiensi detektor CdTe

Efisiensi detektor CdTe mulai menurun setelah 100keV, hal ini mempengaruhi hasil bacaan detektor untuk energi diatas 100kV.

Detektor CdTe lebih baik digunakan untuk mengukur pada energi dibawah 122keV. Detektor CdTe mengalami penurunan kinerja untuk mengukur energi diatas 122keV. Terlihat dari hasil pengukuran terhadap generator pesawat sinar-X *constant potential* pada 150kV dengan hasil yang kurang bagus.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

- Dari hasil pengukuran yang dilakukan terhadap pesawat sinar –X generator *constant potential* didapat nilai koreksi sebesar 0,99. Hasil ini mendekati 1 yang berarti kV yang ditunjukkan pesawat hampir sama dengan yang terbaca oleh detektor.
- Pengukuran spektrum pesawat sinar-X generator *single phase* didapat nilai koreksi sebesar 1,08. Nilai koreksi ini harus dikalikan dengan nilai kVp detektor CdTe agar hasilnya sama dengan nilai yang terbaca oleh detektor unfors.
- Americium-241 dan Barium-133 dapat digunakan untuk mengkalibrasi detektor CdTe direntang energi sinar-X sampai dengan 150 keV.

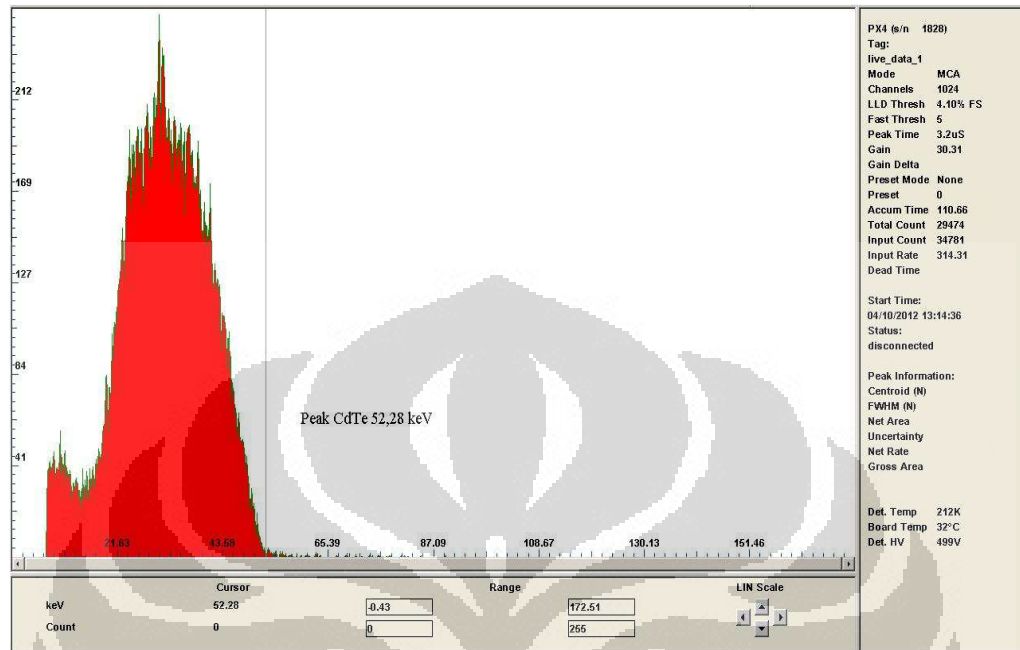
5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya agar memastikan ketepatan antara posisi tube sinar-X dan detektor, serta penggunaan mA, waktu eksposur, filter dan kolimator yang tepat agar mendapatkan kualitas sinar-X yang baik tanpa *dead time* yang terbaca oleh detektor agar hasil yang diperoleh lebih akurat.

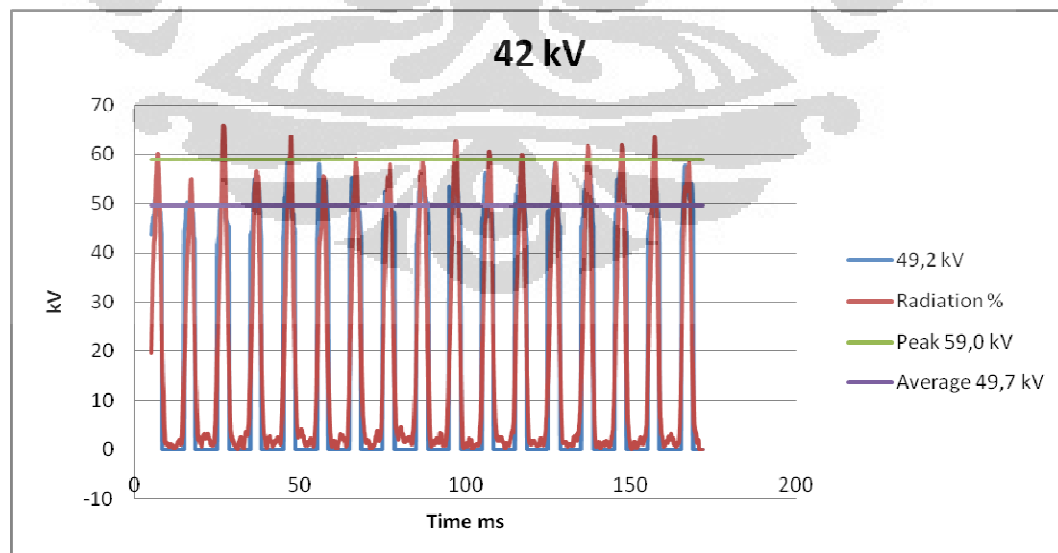
DAFTAR REFERENSI

- Terini, RA., Pereira, MAG. 2004. Comprehensive Analysis of the Spectrometric Determination of Voltage Applied to X-rays Tube in the Radiography and Mammography Energy Ranges Using a Silicon PIN Photodiode. *The British Institute of Radiology*, 77, 395-404.
- Potiens,MPA.,Caldas,LVE. Non-invasive Transfer System to Calibrate kVp meters.*Instituto de Pesquisas Energeticas e Nucleares*. P-7-46.
- Beth,A Schueler.1998. Clinical Application of Basic X-rays Physiscs Principles. AAPM.725-730.
- Anthony J, Seibert.1998. X-rays Generators.AAPM.1527-1532.
- Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation Oncology Physics*. Vienna: IAEA.
- Strydom, W., Parker, W., & Olivares, M. (2005). Electron Beams: Physical and Clinical Aspects. In E. B. Podgorsak, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students* (pp. 273-299). Vienna: IAEA.
- Thwaites, D., & McKenzie, A. (2007). Electron Beam. In P. Mayles, A. Nahum, & J.-C. Rosenwald, *Handbook of Radiotherapy Physics Theory and Practice* (p. 520). New York: Taylor & Francis Group, LL
- Robert M. Jayness. X-rays Production. The Ohio State University

LAMPIRAN A

Single phase

Gambar A.1 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 42kV menggunakan detektor CdTe



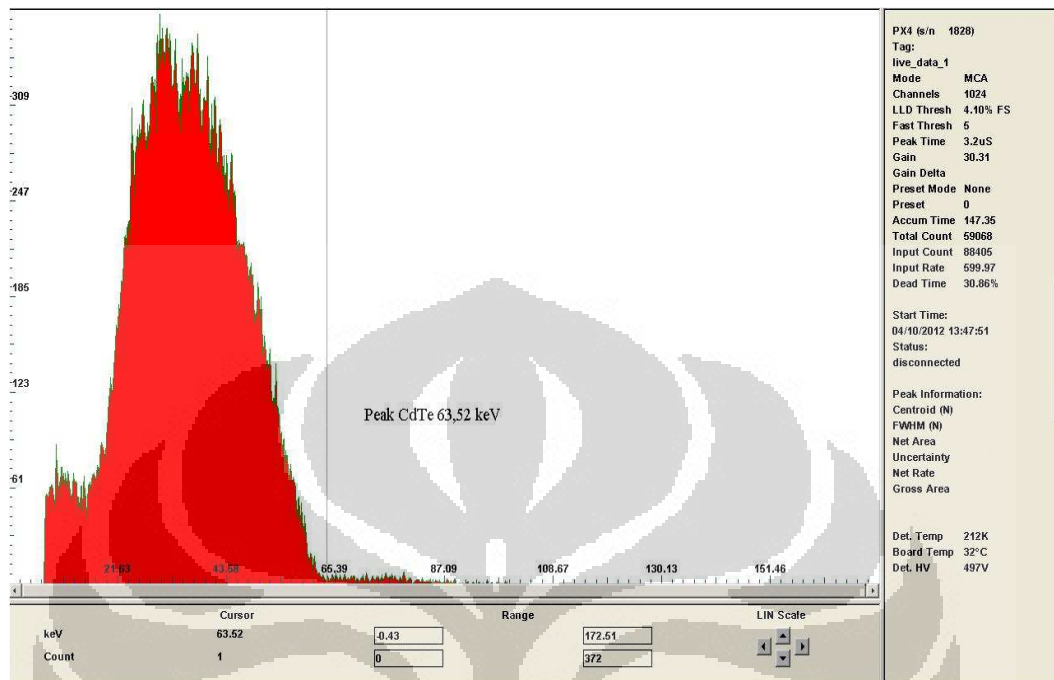
Gambar A.2 Sinyal tegangan 42kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.1 Puncak tegangan pada 42kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

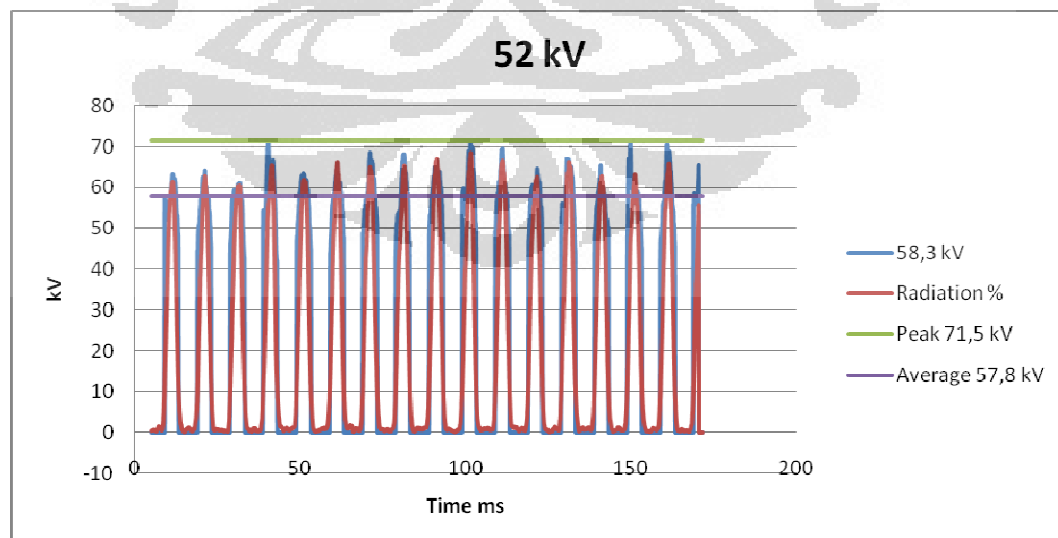
No	Puncak tegangan (kV)
1	51,4
2	50,4
3	59
4	55,1
5	58,6
6	57,9
7	55,3
8	52,8
9	55,2
10	57,8
11	56,3
12	55,6
13	58,1
14	56,5
15	57,3
16	52,4
17	57,8
rata-rata	55,7

Tabel A.2 Hasil pengukuran 42kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
42	49,2	59	50,4	55,7



Gambar A.3 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 52kV menggunakan detektor CdTe



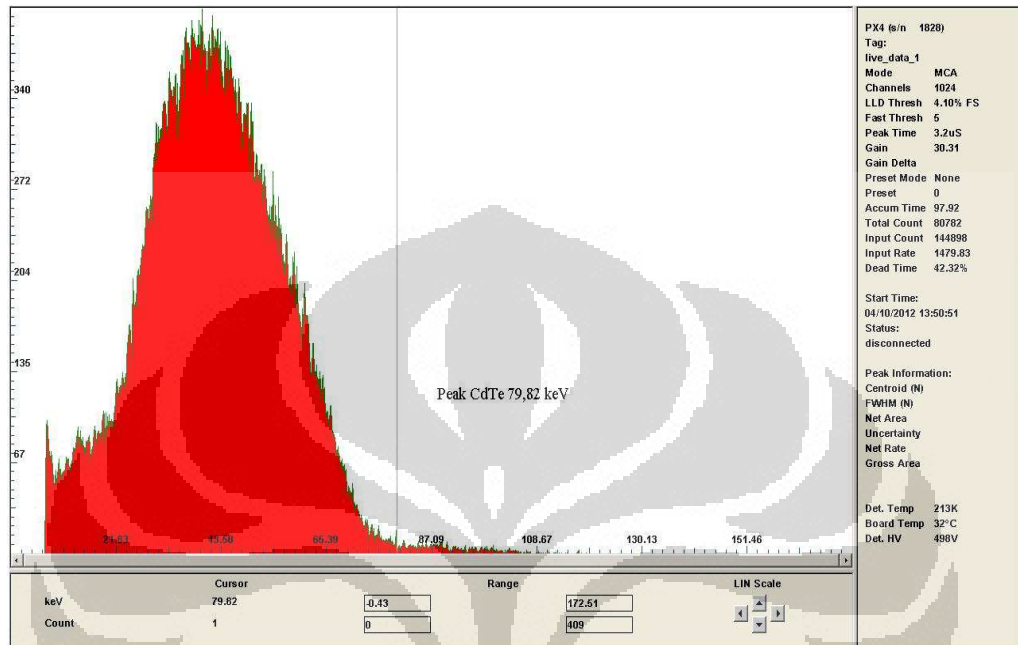
Gambar A.4 Sinyal tegangan 52kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.3 Puncak tegangan pada 52kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

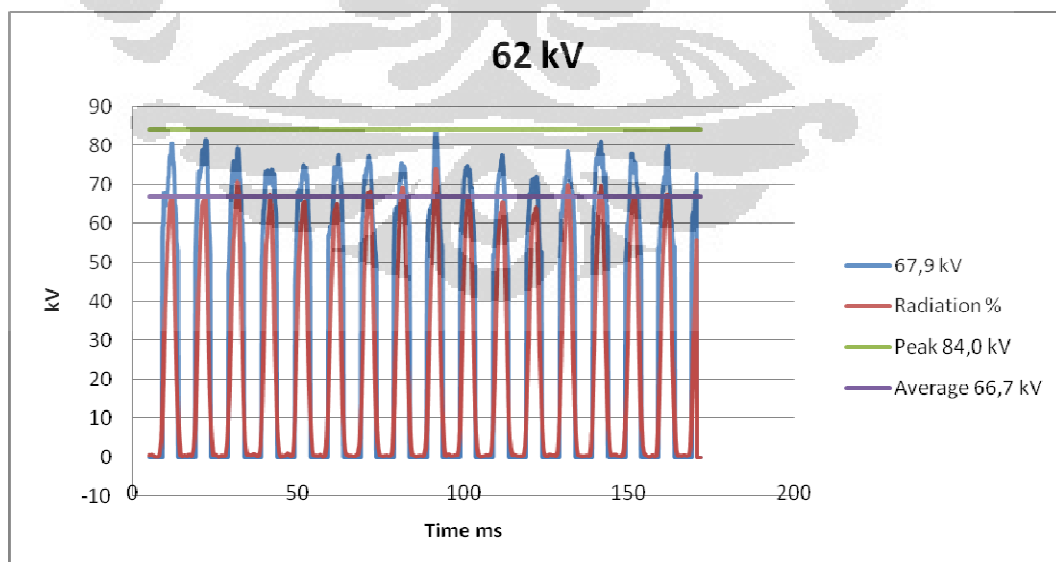
No	Puncak tegangan (kV)
1	63,4
2	64,2
3	61,2
4	71,5
5	63,6
6	64,5
7	68,6
8	68,2
9	65
10	71,1
11	69,6
12	64,7
13	67
14	65,4
15	71,4
16	70,6
17	65,3
rata-rata	66,8

Tabel A.4 Hasil pengukuran 52kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
52	58,3	71,5	61,2	66,8



Gambar A.5 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 62kV menggunakan detektor CdTe



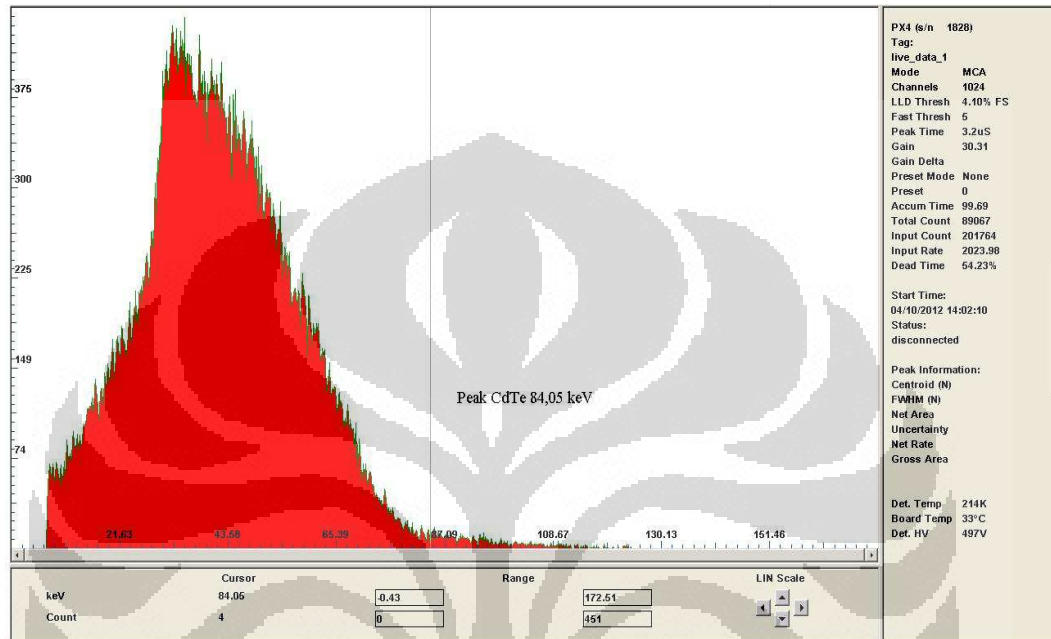
Gambar A.6 Sinyal tegangan 62kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.5 Puncak tegangan pada 62kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

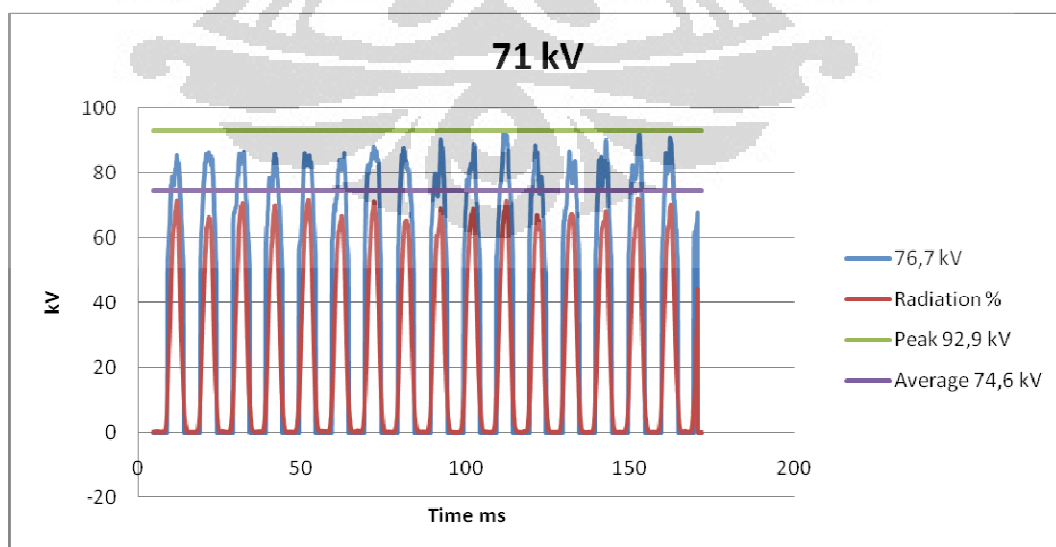
No	Puncak tegangan (kV)
1	80,6
2	81,5
3	79,3
4	73,7
5	75,1
6	77,5
7	77,2
8	75,4
9	84
10	74,9
11	77,4
12	71,9
13	78,5
14	81,1
15	77,7
16	79,7
17	72,4
rata-rata	77,5

Tabel A.6 Hasil pengukuran 62kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
62	67,9	84	71,9	77,5



Gambar A.7 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 71kV menggunakan detektor CdTe



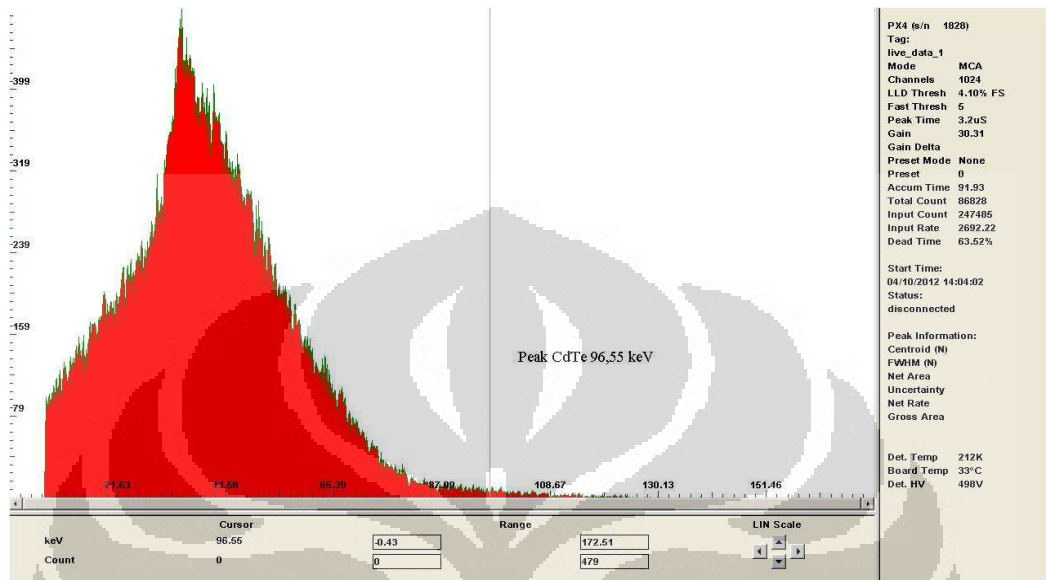
Gambar A.8 Sinyal tegangan 71kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.7 Puncak tegangan pada 71kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

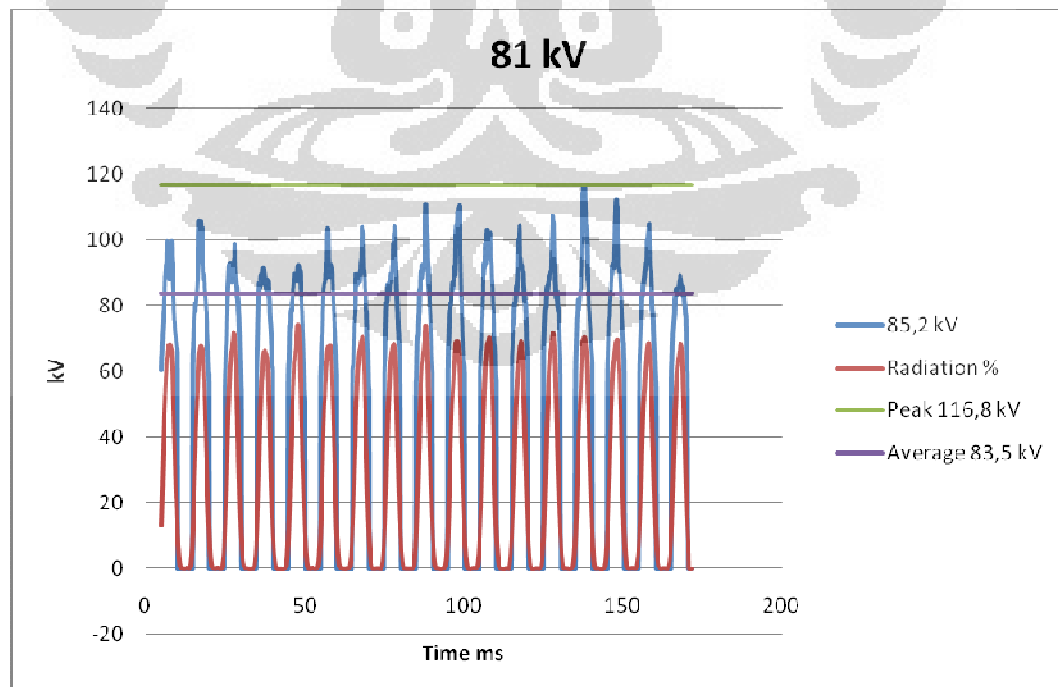
No	Puncak tegangan (kV)
1	85,5
2	86,6
3	86,8
4	85,9
5	86,3
6	86,4
7	88,1
8	87,8
9	90,3
10	89,1
11	92,9
12	88,6
13	86,9
14	90,1
15	91,9
16	90,8
17	67,9
rata-rata	87,2

Tabel A.8 Hasil pengukuran 71kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
71	76,7	92,9	67,9	87,2



Gambar A.9 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 81kV menggunakan detektor CdTe



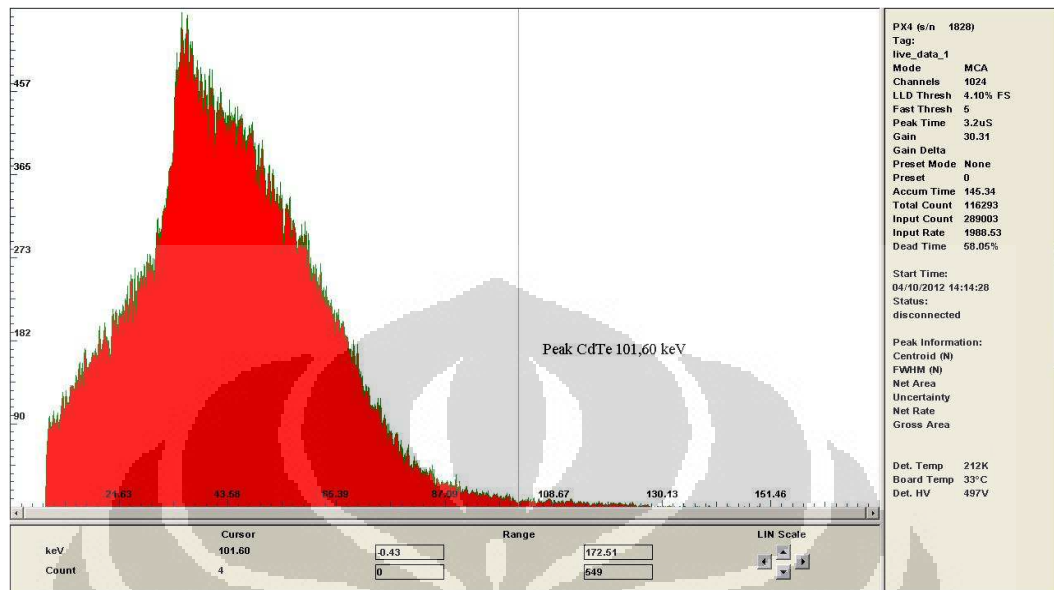
Gambar A.10 Sinyal tegangan 81kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.9 Puncak tegangan pada 81kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

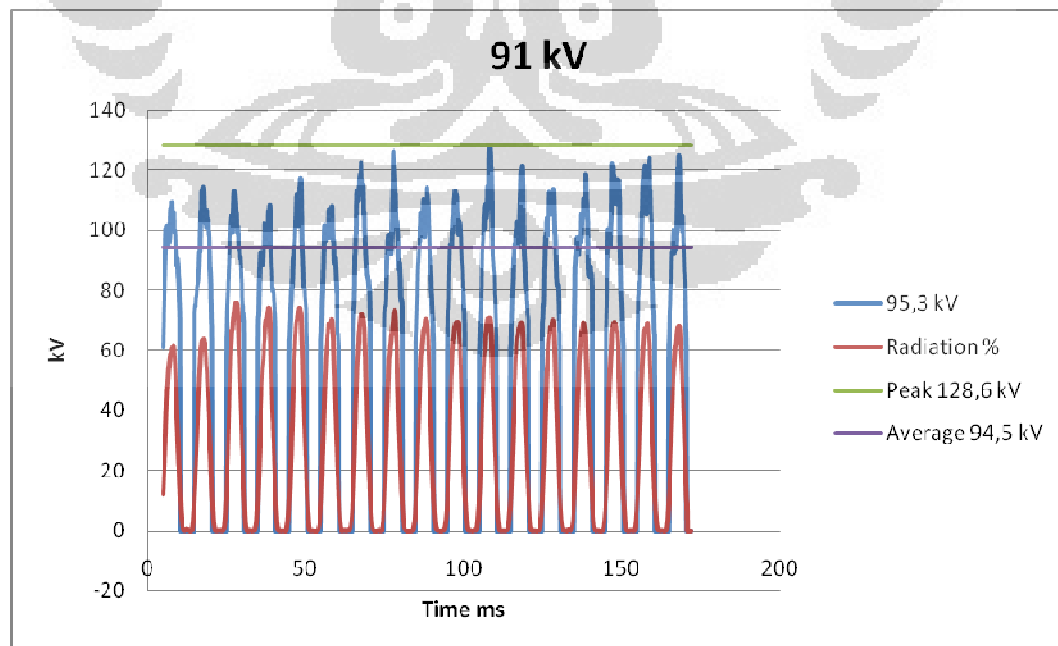
No	Puncak tegangan (kV)
1	99,9
2	105,9
3	99,1
4	91,6
5	92,3
6	103,6
7	103,9
8	104,3
9	111,1
10	110,4
11	103,2
12	104,4
13	107,5
14	116,8
15	112,4
16	105,3
17	89,2
rata-rata	103,6

Tabel A.10 Hasil pengukuran 81kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
81	85,2	116,8	89,2	103,6



Gambar A.11 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 91kV menggunakan detektor CdTe



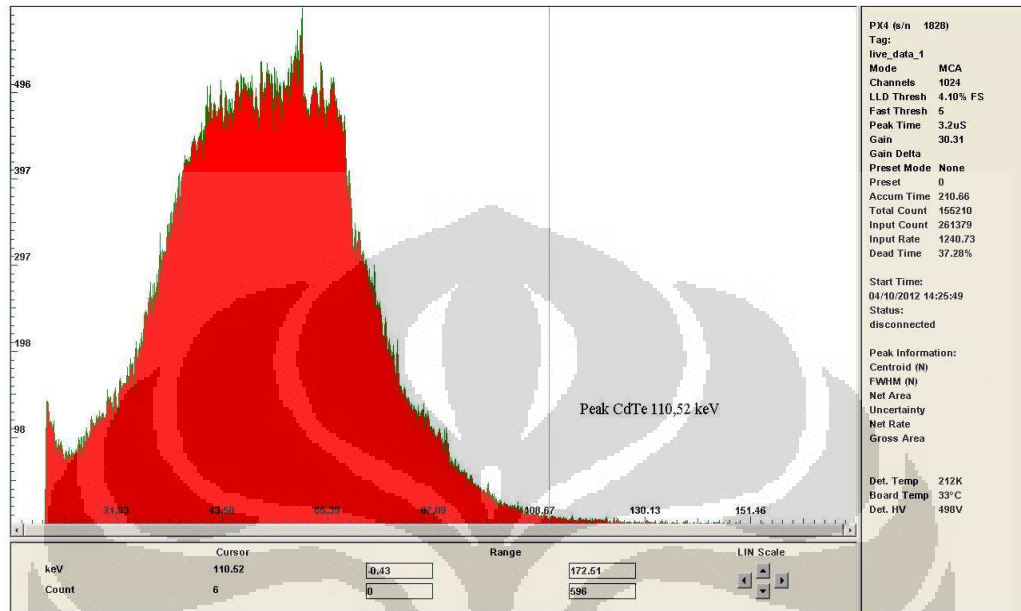
Gambar A.12 Sinyal tegangan 91kV generator *single phase* pada Unfors

Tabel A.11 Puncak tegangan pada 91kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

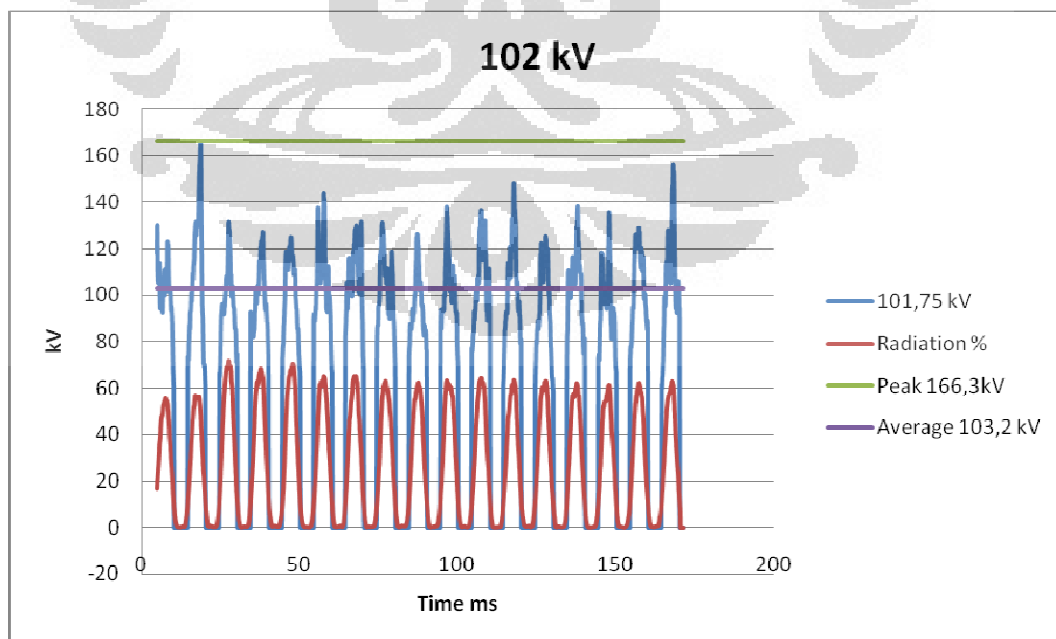
No	Puncak tegangan (kV)
1	109,6
2	114,6
3	113,1
4	108,4
5	117,6
6	108
7	122,6
8	126,5
9	114,4
10	113,3
11	128,6
12	121,6
13	113,9
14	118,8
15	122,3
16	124,3
17	125,2
rata-rata	117,8

Tabel A.12 Hasil pengukuran 91kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
91	95,3	128,6	108	117,8



Gambar A.13 Pengukuran spektrum sinar-X generator *single phase* pada 102kV menggunakan detektor CdTe



Gambar A.14 Sinyal tegangan 102kV generator *single phase* pada Unfors

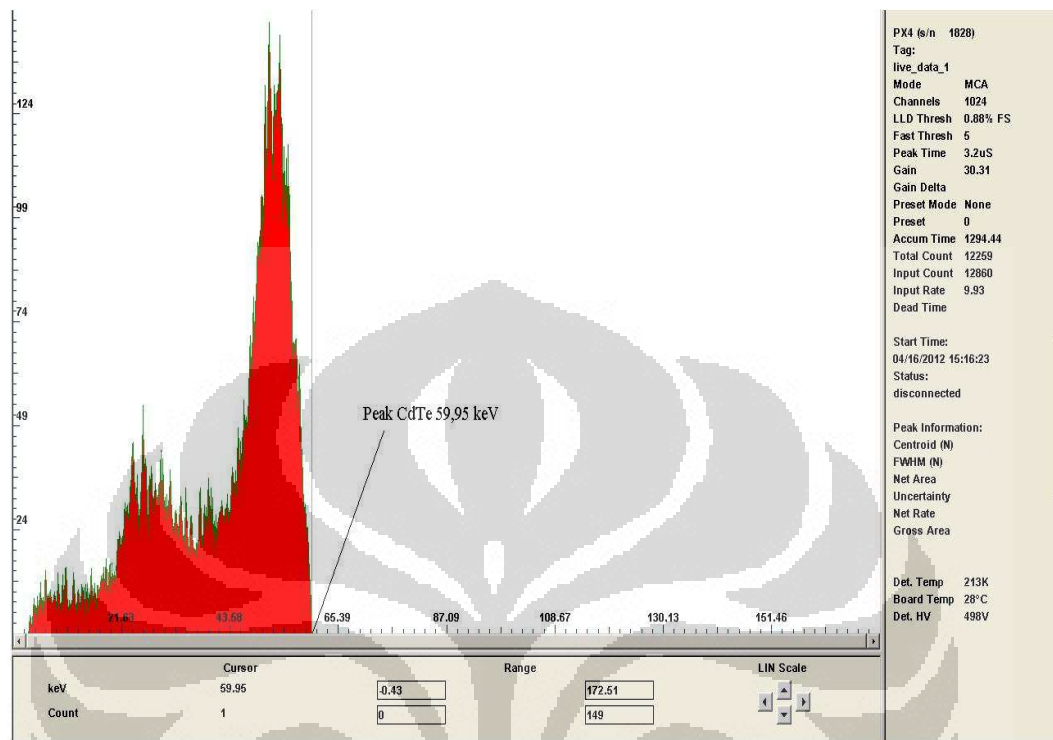
Tabel A.13 Puncak tegangan pada 102kV pesawat sinar-X generator *single phase* menggunakan Unfors

No	Puncak tegangan (kV)
1	130,3
2	166,3
3	131,8
4	126,9
5	125,1
6	143,8
7	131,7
8	131,6
9	126,3
10	137,8
11	136,7
12	148,3
13	125,4
14	138,3
15	135,5
16	129,3
17	156,3
rata-rata	136,5

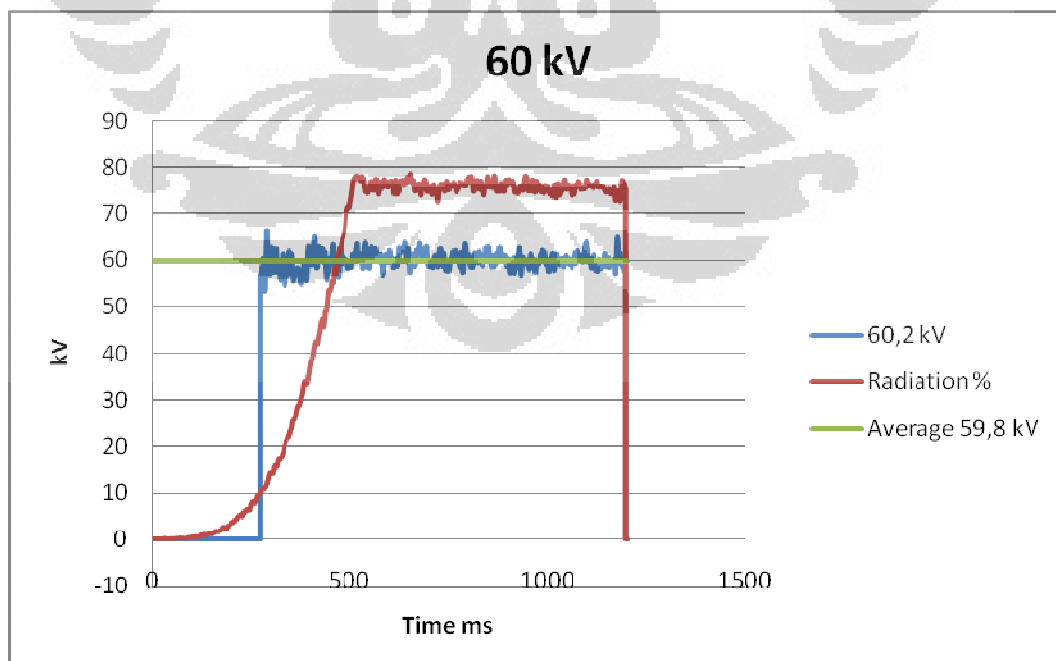
Tabel A.14 Hasil pengukuran 102kV pesawat sinar-X generator *single phase*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak maksimal (kV)	Tegangan puncak minimal (kV)	Tegangan puncak rata-rata (kV)
102	101,75	166,3	125,1	136,5

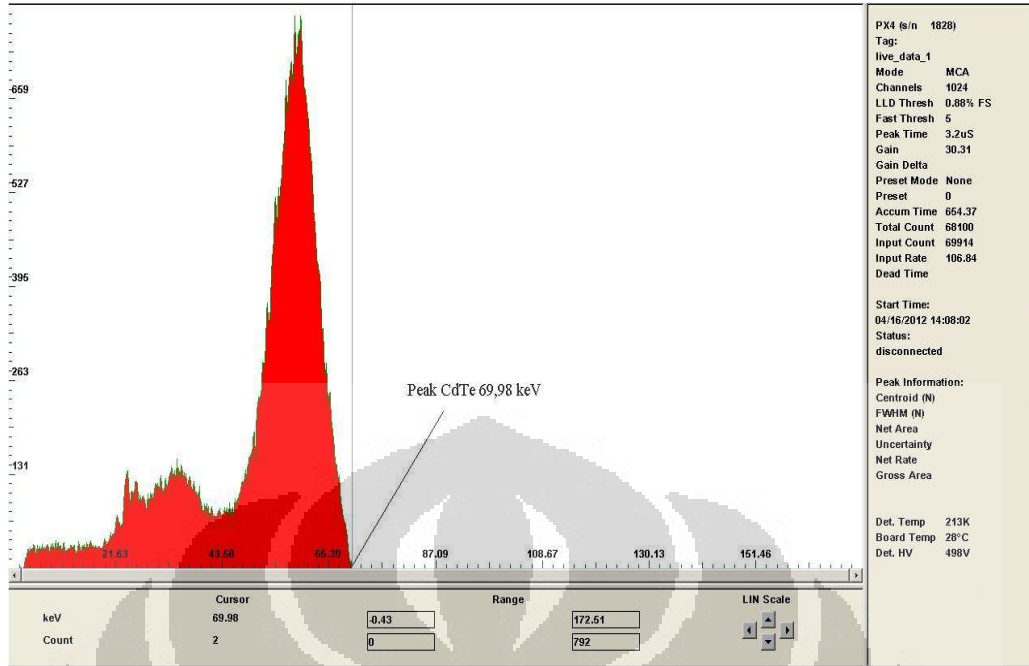
LAMPIRAN B

Constant Potential

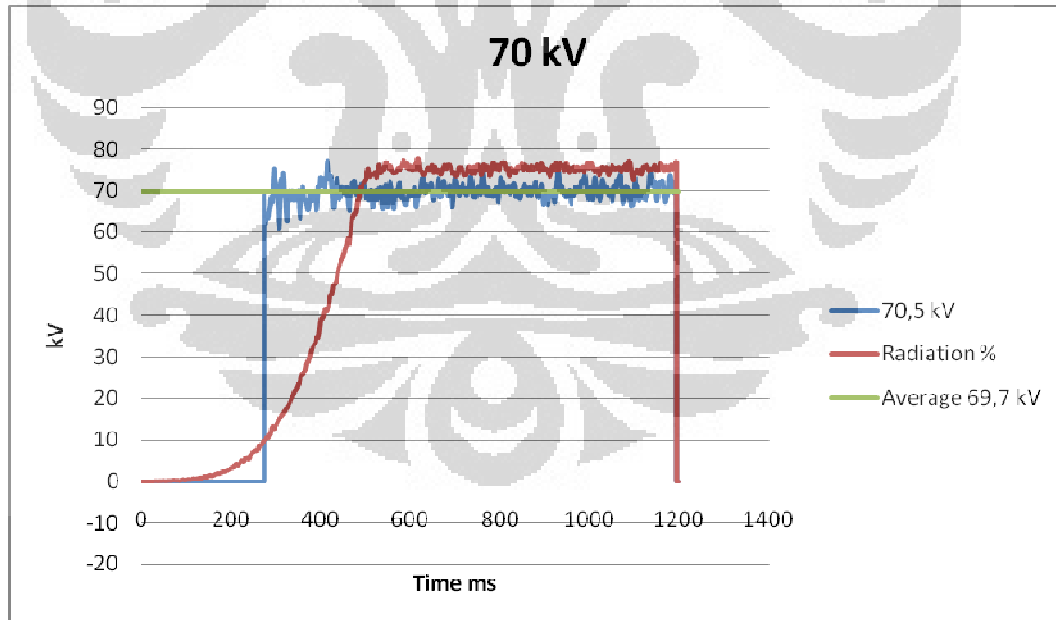
Gambar B.1 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 60kV menggunakan detektor CdTe



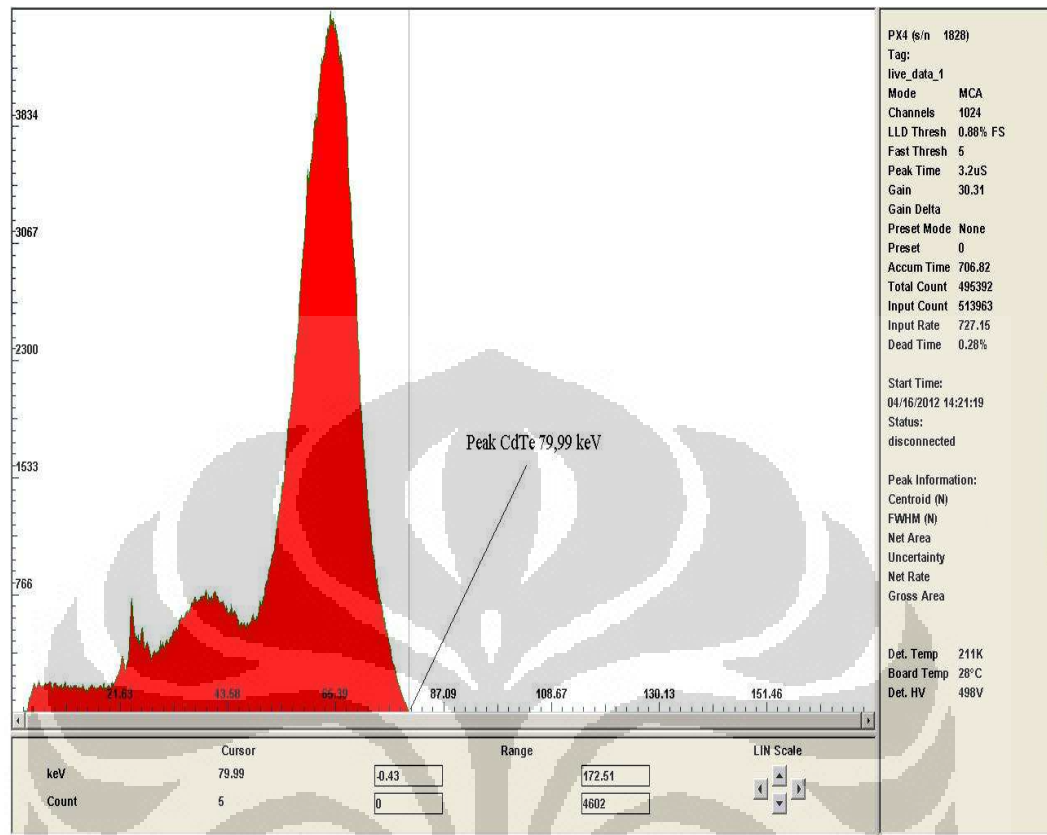
Gambar B.2 Sinyal tegangan 60kV generator *constant potential* pada Unfors



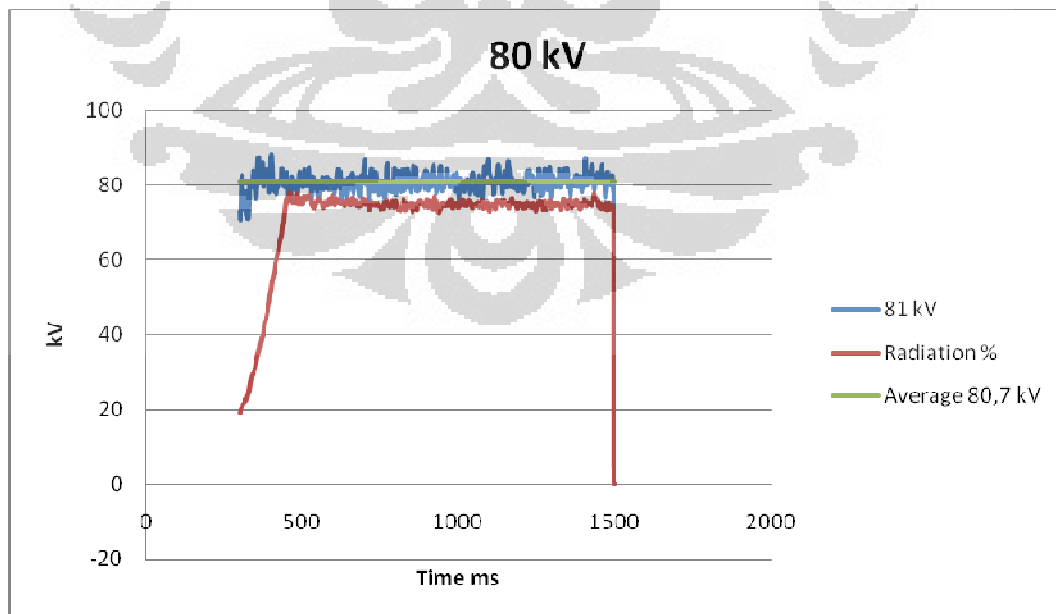
Gambar B.3 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 70kV menggunakan detektor CdTe



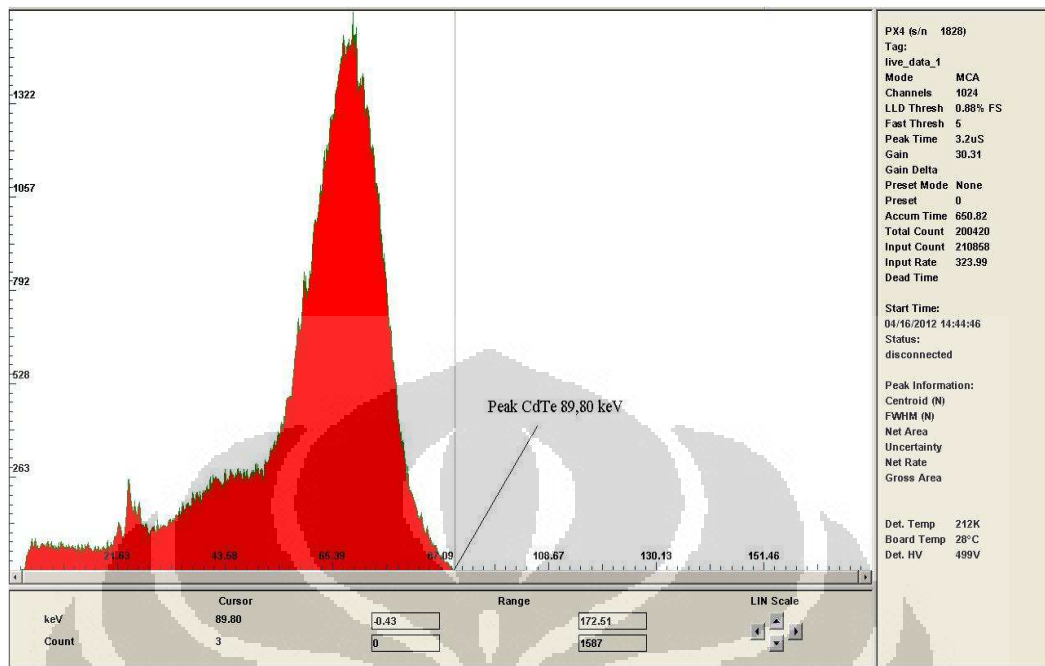
Gambar B.4 Sinyal tegangan 70kV generator *constant potential* pada Unfors



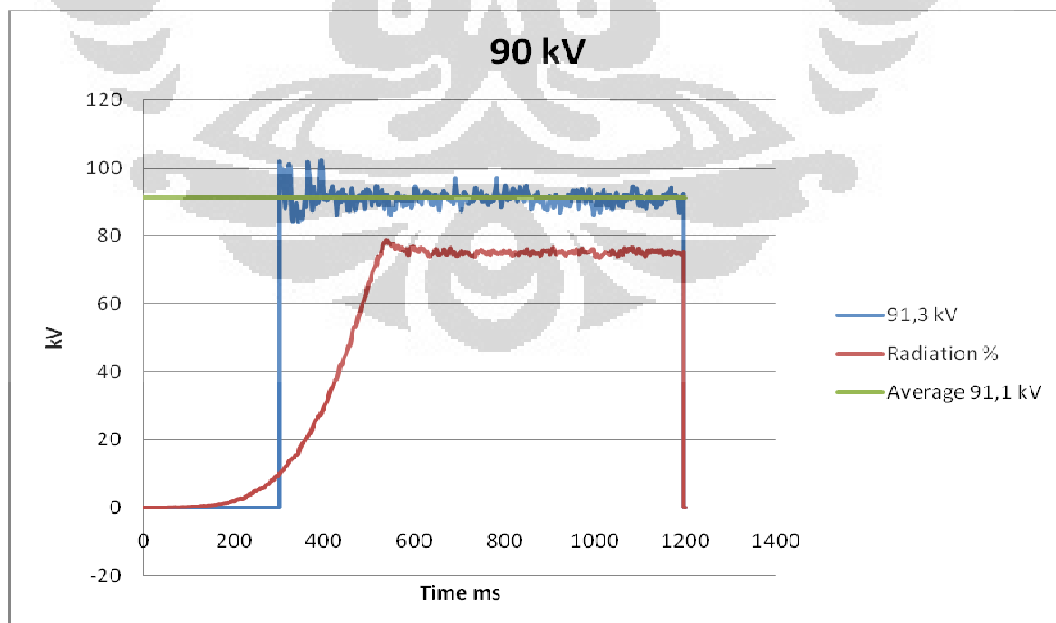
Gambar B.5 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 80kV menggunakan detektor CdTe



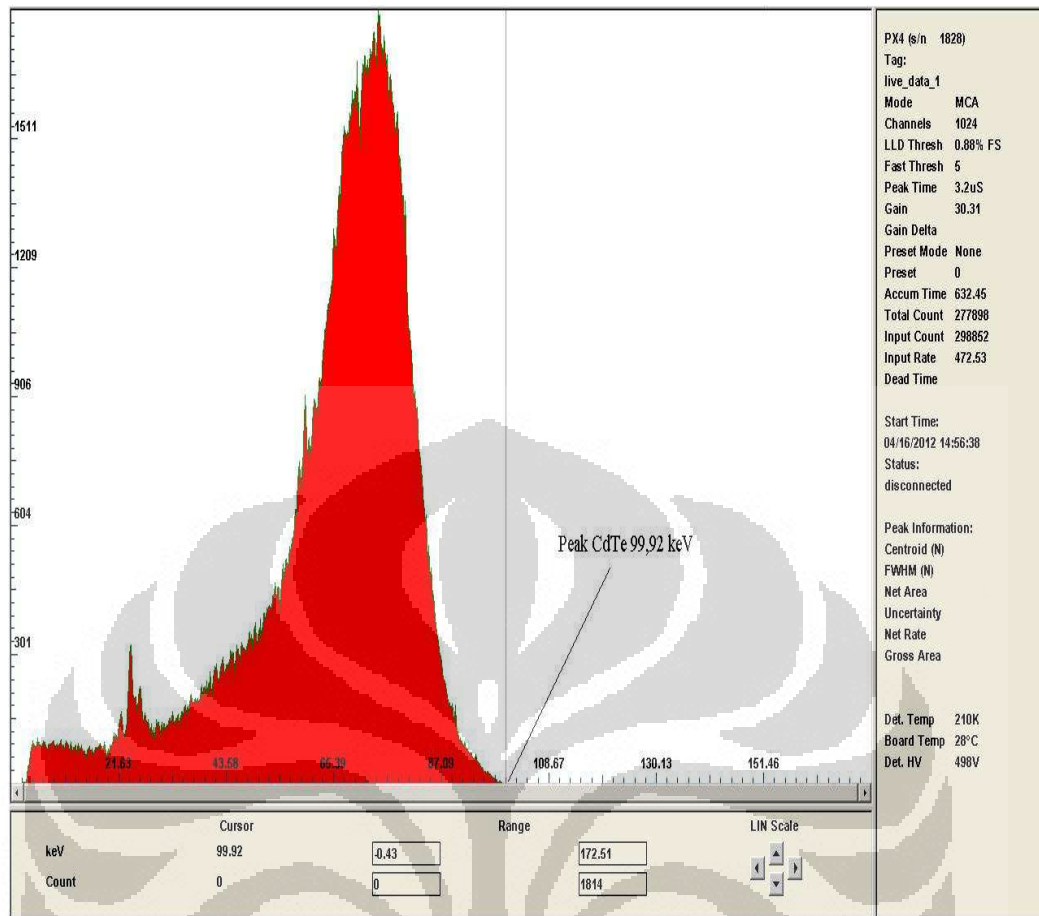
Gambar B.6 Sinyal tegangan 80kV generator *constant potential* pada Unfors



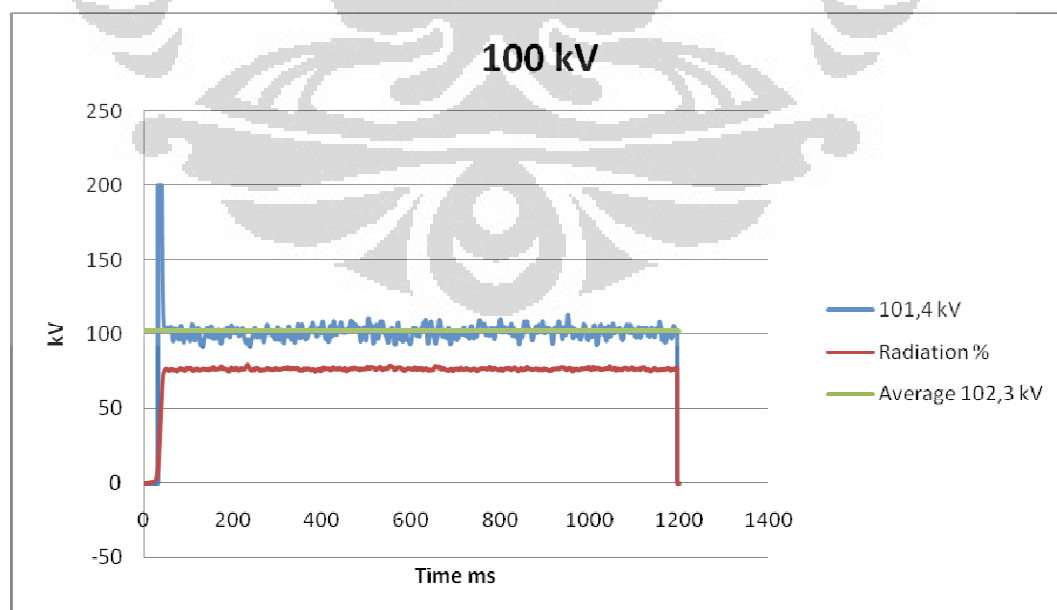
Gambar B.7 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 90kV menggunakan detektor CdTe



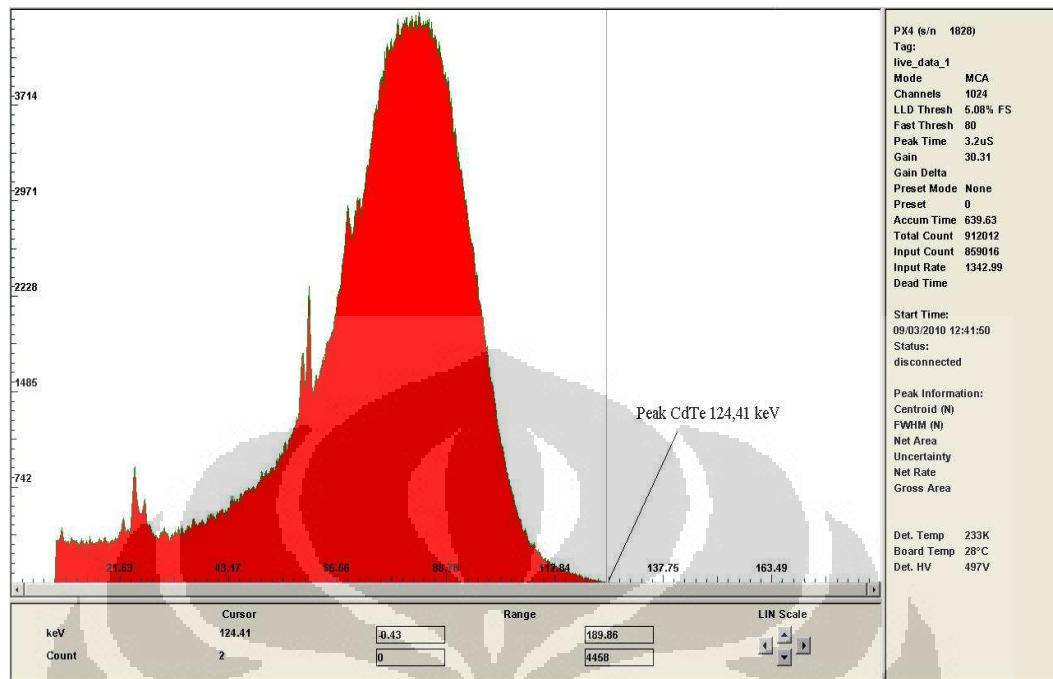
Gambar B.8 Sinyal tegangan 90kV generator *constant potential* pada Unfors



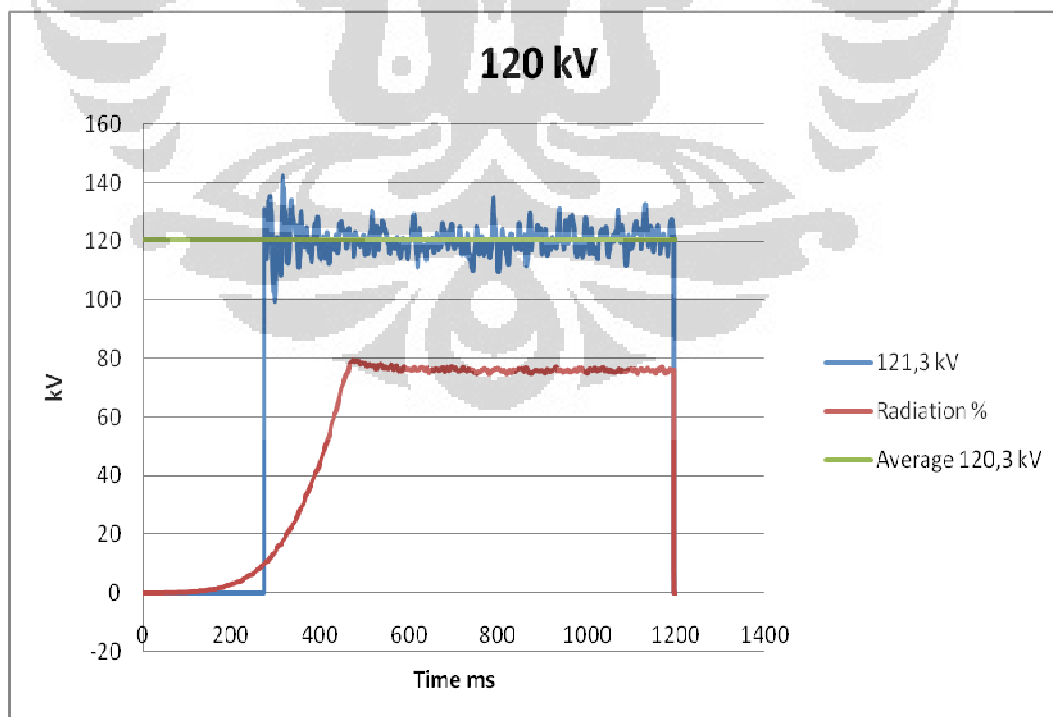
Gambar B.9 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 100kV menggunakan detektor CdTe



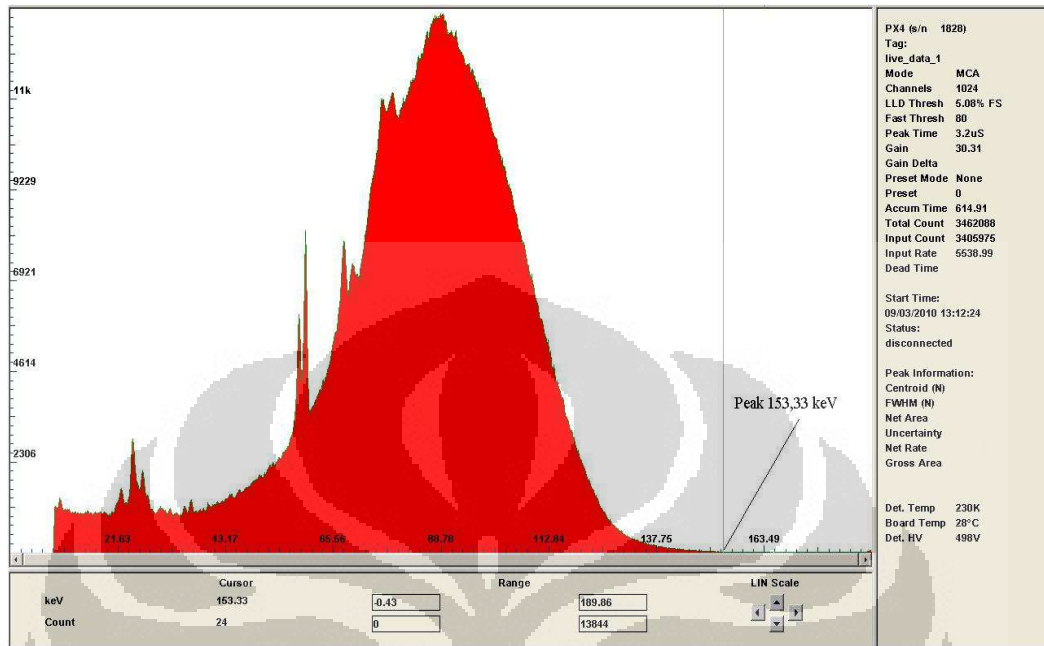
Gambar B.10 Sinyal tegangan 100kV generator *constant potential* Unfors



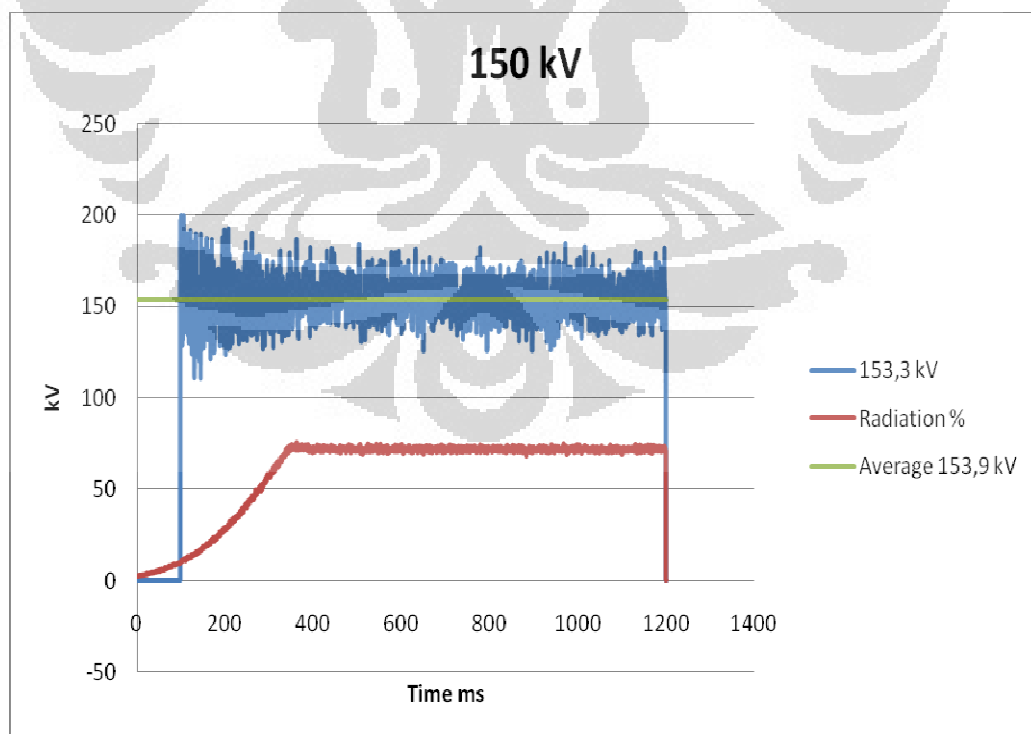
Gambar B.11 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 120kV menggunakan detektor CdTe



Gambar B.12 Sinyal tegangan 120kV generator *constant potential* Unfors



Gambar B.13 Pengukuran spektrum sinar-X generator *constant potential* pada 150kV menggunakan detektor CdTe



Gambar B.14 Sinyal tegangan 150kV generator *constant potential* Unfors

LAMPIRAN C

Tabel C.1 Hasil pengukuran 60kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
60	60,2	59,95	1

Tabel C.2 Hasil pengukuran 70kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
70	70,5	69,98	1

Tabel C.3 Hasil pengukuran 80kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
80	81	79,99	1

Tabel C.4 Hasil pengukuran 90kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
90	91,3	89,8	1

Tabel C.5 Hasil pengukuran 100kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
100	101,4	99,92	1

Tabel C.6 Hasil pengukuran 120kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
120	121,3	124,41	0,96

Tabel C.7 Hasil pengukuran 150kV pesawat sinar-X generator *constant potential*

Tegangan pesawat (kV)	Tegangan terukur (kV)	Tegangan puncak CdTe (kV)	Rasio tegangan pesawat terhadap tegangan puncak CdTe
150	153,3	153,33	0,98