



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KELUARAN SINYAL GENERATOR TABUNG
SINAR-X MENGGUNAKAN METODE NON-INVASIVE**

SKRIPSI

CAHYO FITRIYANI MAISYAROH

0906602212

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KELUARAN SINYAL GENERATOR TABUNG
SINAR-X MENGGUNAKAN METODE NON-INVASIVE**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

CAHYO FITRIYANI MAISYAROH

0906602212

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
PROGRAM STUDI FISIKA**

DEPOK

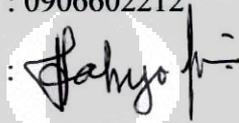
JUNI 2012

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

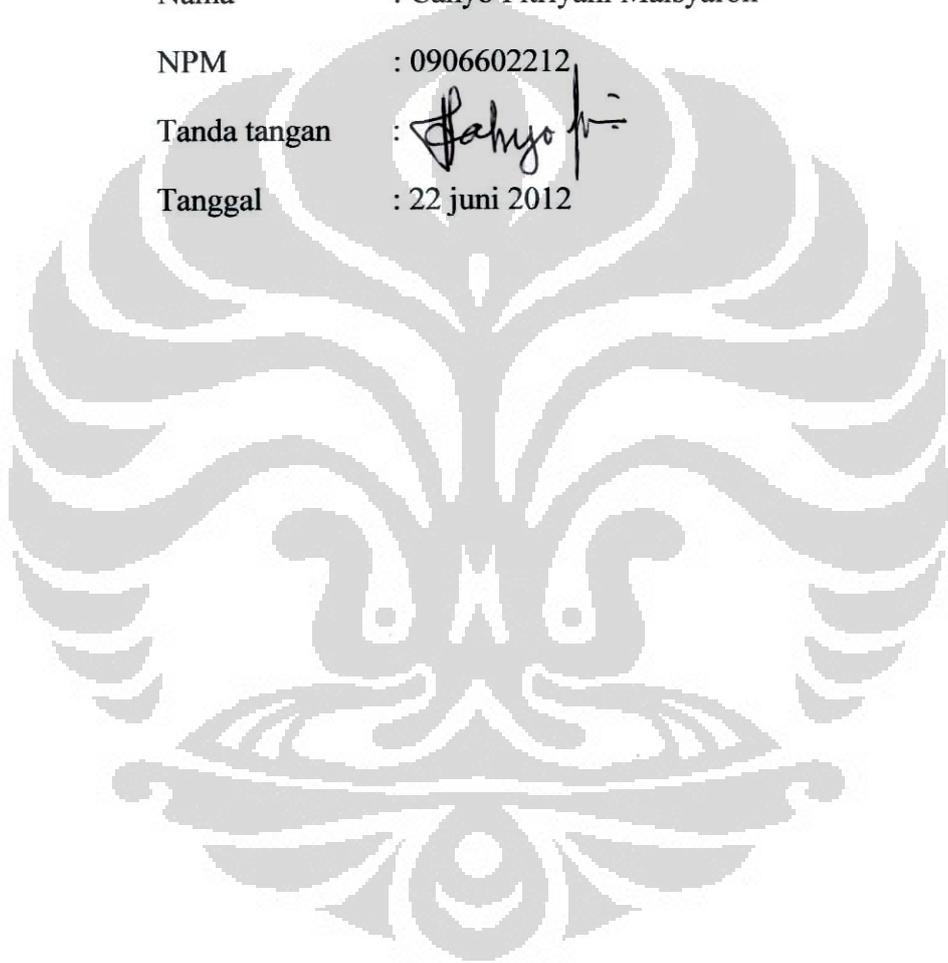
Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Cahyo Fitriyani Maisyaroh

NPM : 0906602212

Tanda tangan : 

Tanggal : 22 juni 2012



LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Cahyo Fitriyani Maisyaroh
NPM : 0906602212
Program studi : Fisika
Judul : Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Tabung Sinar-x
Menggunakan Metode *Non-Invasive*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang dilakukan untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

DEWAN PENGUJI

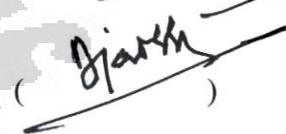
Pembimbing I : DR. Prawito

()

Pembimbing II : Heru Prasetio, M.Si

()

Penguji I : Prof. DR Djarwani S

()

Penguji II : Dwi Seno K, M.Si

()

Ditetapkan : Depok

Tanggal : 12 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sience Jurusan Fisika Medis pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini ijin penulis untuk menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama masa penyelesaian skripsi dengan judul “**Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Tabung Sinar-x Menggunakan Metode *Non-Invasive***”.

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis.
2. Bapak, (Almh.) Ibu tercinta, dan Adik-adik yang telah memberikan dorongan moral, semangat, dan doa kepada penulis.
3. Bapak Dr. Prawito dan Bapak Heru Prasetio, M.Si sebagai pembimbing yang telah dengan sabar membimbing sampai dengan selesainya penelitian ini.
4. Rekan-rekan mahasiswa program S1 Ekstensi Fisika khususnya Fisika Medis FMIPA UI angkatan 2009, neng Aden Latifatuzzahra, terima kasih atas semua kebersamaan dan kerjasamanya.
5. Semua pihak yang tidak saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini sangat jauh dari sempurna. Walaupun demikian penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan keilmuan di masa yang akan datang. Penulis berharap besar atas saran dan kritik yang membangun demi perbaikan penulisan penelitian ini.

Juni 2012

Penulis

**LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Cahyo Fitriyani Maisyaroh
NPM : 0906602212
Program Studi : Medis
Departemen : Fisika
Jenis Karya : Skripsi

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

EVALUASI KELUARAN SINYAL GENERATOR TABUNG SINAR-X
MENGUNAKAN METODE *NON-INVASIVE*

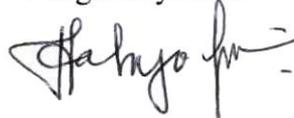
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian persyaratan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 22 juni 2012

Yang menyatakan



[Cahyo Fitriyani Maisyaroh]

ABSTRAK

Nama : Cahyo Fitriyani Maisyaroh
Program Studi : Fisika Medis
Judul : Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Tabung Sinar-x
Menggunakan Metode Non-Invasive

Generator sinar-x menyuplai energi untuk tabung sinar-x, yang berfungsi untuk mengatur parameter paparan radiasi. Dilakukan evaluasi menggunakan metode non-invasive untuk mendeteksi jenis ketidaksesuaian fungsi sistem *loading*, *rectifier*, *contactor*, *shutter*, *cable* ataupun *connector arcing* pada generator dari bentuk sinyal yang dihasilkan pada program *Xi View Unfors* dan dilakukan juga evaluasi terhadap kinerja generator. Penilaian hasil uji fungsi ini dilakukan dengan melakukan analisa fungsi generator sinar-x menggunakan data yang telah diukur di PTKMR meliputi berbagai jenis generator *constant potential* dan *single-phase*. Detektor unfors diletakkan pada jarak 100 cm dari fokus sumber radiasi pesawat sinar-x. Tegangan panel pesawat bervariasi mulai dari kV terendah sampai kV tertinggi. Parameter uji yang dilakukan dalam uji fungsi pesawat sinar-x pada penelitian ini hanya yang berkaitan dengan kondisi penyinaran yaitu akurasi tegangan kerja (kV), akurasi waktu paparan (s), kesesuaian nilai HVL (*Half Value Layer*). Hasil dari uji fungsi dibandingkan dengan referensi dari *Western Australia*. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan, pesawat sinar-x yang lulus uji fungsi, tidak menjamin memiliki fungsi generator yang sesuai dengan standar spesifikasi. Kemungkinan *surge step*, *overshoot* dan *contactor bounce* kerap terjadi pada awal paparan, sedangkan drop tegangan maupun *discharge* kerap terjadi pada saat paparan berlangsung.

Kata Kunci : Evaluasi keluaran sinyal, generator tabung sinar-x, constant potential, single-phase, parameter paparan radiasi
50+xii Halaman; 30 Gambar; 18 Tabel
Daftar Pustaka 8 (1959-2009)

ABSTRACT

Name : Cahyo Fitriyani Maisyaroh
Program Study : Medical Physics
Title : Evaluation of The X-ray Tube Output Signals Generators
by Non-Invasive Methods

The x-ray generator supplies energy to the x-ray tube, that controlling the radiation exposure parameter. Evaluation done using non-invasive methods to detect generators problems at system function such as loading, rectifier, contactor, shutter, cable and connector arcing from signal output showed on Xi View Unfors program. We also evaluate the generator performances. Compliance test done by analyzing the x-ray generator function that measured by PTKMR, which consist of constant potential generator and single-phase generator. Unfors detector placed at 100 cm away from the focus of x-ray radiation source. Variation of panel voltage start from the lower kV to Higher kV. Compliance test parameters in this evaluation only related with exposure influence parameter, which are panel voltage accuracy (kV), exposure times accuracy (s), and HVL. This results will be compare to Western Australia's standard. According to the evaluation, x-ray machines that passed the compliance test did not guaranteed that the generator has performance as specified by specification. *Surge step*, *overshoot* and *contactor bounce* is happened at the first of the exposure and vottage droop, discharges is happened when the exposure running.

Key Words : Evaluation of the output signal generator, x-ray tube generator, constant potential, single-phase, radiation exposure parameter
50+xii Pages; 30 Pictures; 18 Tables
Bibliography 8 (1959-2009)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Metodologi Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Generator Sinar-x	5
2.1.1 Generator <i>Single-phase</i>	6
2.1.2 Generator <i>Constant Potential</i>	7
2.1.3 Transformator	8
2.1.4 Auto Transformator	10
2.1.5 Dioda	11
2.1.6 <i>Rectifier Circuit</i> (Penyearah)	12
2.1.6.1 <i>Rectifier</i> Setengah Gelombang	12
2.1.6.2 <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh dengan <i>Center Tap</i> (CT)	13
2.1.6.3 <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh Sistem Jembatan	14
2.1.6.4 <i>Rectifier</i> Teregulasi	15
2.1.5 <i>Filament Circuit</i>	16
2.2 Tabung Sinar-x	17
2.3 Karakteristik Sinyal	17
2.4 Distorsi Gelombang	19
2.4.1 Distorsi Frekuensi	19
2.4.2 Distorsi <i>Non-Linear</i> (Amplitudo)	20
2.4.3 Distorsi <i>Phase</i> atau <i>Delay</i>	20
2.5 Uji Fungsi atau uji Kesesuaian	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Penilaian Hasil Uji Fungsi	22
3.1.1 Pengaturan Posisi Pengukuran	22
3.1.2 Prosedur Uji Fungsi Pesawat Sinar-x	23
3.2 Evaluasi Hasil Keluaran Sinyal Generator Sinar-x	25
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISA	27
4.1 Pesawat Sinar-x <i>Constant Potential</i>	27
4.1.1 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i>	27
4.1.1.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)	27

4.1.1.2 Akurasi Waktu Paparan (s)	28
4.1.1.3 HVL (<i>Half Value Layer</i>)	29
4.1.2 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i>	29
4.1.3 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i>	31
4.1.3.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)	31
4.1.3.2 Akurasi Waktu Paparan (s)	32
4.1.3.3 HVL (<i>Half Value Layer</i>)	33
4.1.4 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-X B, <i>Constant Potential</i>	34
4.2 Pesawat Sinar-x <i>Single Phase</i>	35
4.2.1 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat sinar-x C, <i>Single-Phase</i>	35
4.2.1.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)	35
4.2.1.2 Akurasi Waktu Paparan (s)	37
4.2.1.3 HVL (<i>Half Value Layer</i>)	38
4.2.2 Evaluasi Keluaran Sinyal pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i>	39
4.2.3 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat sinar-x D, <i>Single-Phase</i>	42
4.2.3.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)	42
4.2.3.2 Akurasi Waktu Paparan (s)	43
4.2.3.3 HVL (<i>Half Value Layer</i>)	45
4.2.4 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, <i>Single-Phase</i>	46
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	50

DAFTAR TABEL

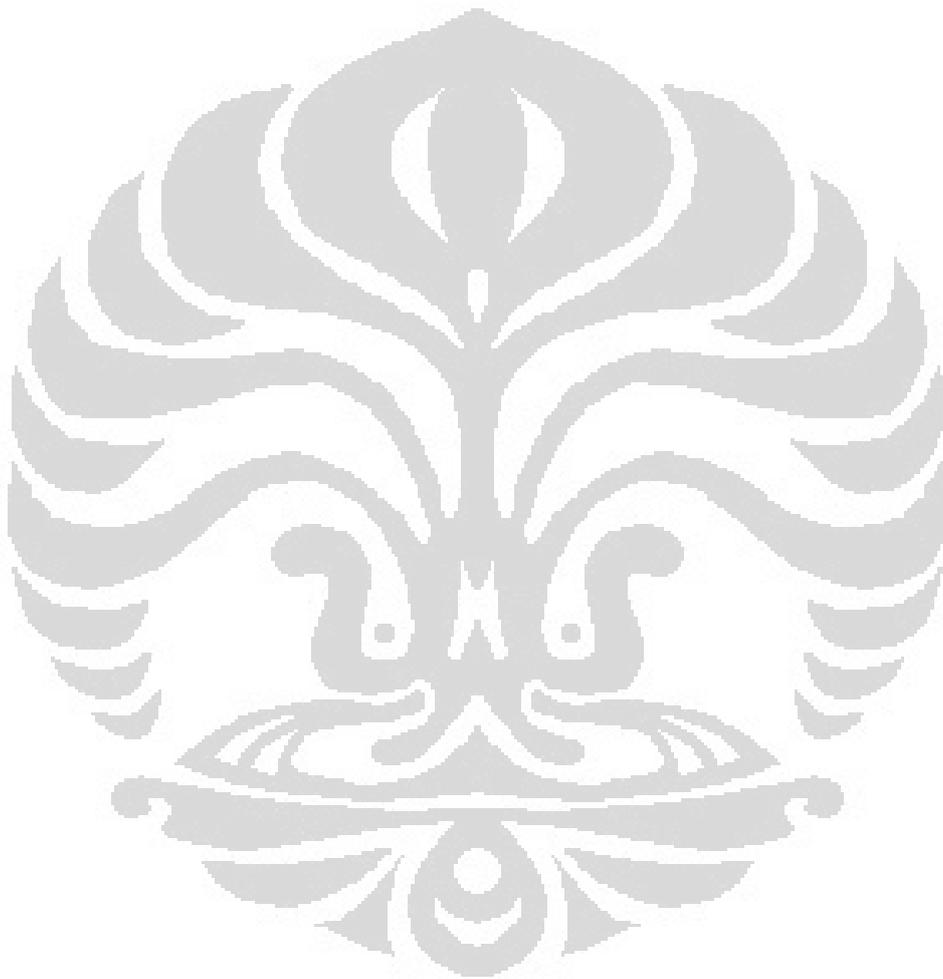
2.1	Batas Toleransi Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-x	21
4.1	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i>	27
4.2	Data Akurasi Waktu (s) Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i>	28
4.3	Hasil Pengukuran HVL	29
4.4	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i>	32
4.5	Data Akurasi Waktu (s) Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i>	33
4.6	Hasil Pengukuran HVL	33
4.7	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x C, <i>Single Phase, t=0,2 s</i>	36
4.8	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x C, <i>Single Phase, t=0,1 s</i>	36
4.9	Data Akurasi Waktu (s) Pesawat sinar-x C, <i>Single Phase t=0,2 s</i>	37
4.10	Data Akurasi Waktu (s) Pesawat sinar-x C, <i>Single Phase t=0,1 s</i>	38
4.11	Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x C, <i>Single Phase t=0,1 s</i>	38
4.12	Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x C, <i>Single Phase t=0,2 s</i>	39
4.13	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x D, <i>Single Phase, Kondisi 10 mA 0,5 s</i>	42
4.14	Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x D, <i>Single Phase, Kondisi 20 mA 0,1 s</i>	43
4.15	Data Akurasi Waktu (s) Pesawat Sinar-x D, <i>Single-Phase</i>	44
4.16	Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x D, <i>Single Phase</i> Kondisi 10 mA 0,5 s	45
4.17	Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x D, <i>Single Phase</i> Kondisi 20 mA 0,1 s	45

DAFTAR GAMBAR

1.1	Skema Metodologi Penelitian	3
2.1	Diagram Generator Sinar-x dengan Tabung Sinar-x	5
2.2	Blok Diagram Generator Sinar-x Constant potential	8
2.3	Diagram Transformator Sederhana	9
2.4	Auto Transformator	11
2.5	Sirkuit Diagram Dioda	11
2.6	Rangkaian <i>Rectifier</i> Setengah Gelombang	13
2.7	Rangkaian <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh dengan <i>Center Tap</i>	14
2.8	Rangkaian <i>Rectifier</i> Gelombang Penuh Sistem Jembatan	15
2.9	Rangkaian <i>Rectifier</i> Teregulasi	16
2.10	Diagram Komponen <i>Filament Circuit</i>	16
2.11	Komponen Tabung Sinar-x	17
2.12	Karakteristik Sebuah Sinyal	18
2.13	Bentuk Tipikal Gelombang	19
3.1	Detektor <i>Unfors</i>	23
3.2	Pengaturan Posisi Detektor <i>Unfors</i> terhadap Tabung Sinar-x	23
3.3	<i>Control Unit Generator</i>	24
3.4	Contoh Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Sinar-x, <i>Constant Potential</i>	26
3.5	Contoh Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Sinar-x, <i>Single-Phase</i>	26
4.1	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i> , 49,79 kV 5 s	29
4.2	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i> , 120 kV 5 s	30
4.3	Pengaturan <i>Pre-heat</i> yang Baik	31
4.4	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i> , 80 kV 0,04 s	34
4.5	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i> , 70 kV 0,04 s	34
4.6	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i> , 70 kV 0,1 s	39
4.7	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i> , 60 kV 0,1 s	40
4.8	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i> , 70 kV 0,2 s	40
4.9	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i> , 65 kV 0,2 s	41
4.10	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, <i>Single-Phase</i> , 80 kV 0,5 s	46
4.11	Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i> , 100 kV 0,5 s	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, <i>Constant Potential</i>	50
Lampiran 2. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, <i>Constant Potential</i>	53
Lampiran 3. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, <i>Single-Phase</i>	56
Lampiran 4. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, <i>Single-Phase</i>	59



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan sumber radiasi dalam berbagai jenis dan kegiatan, meningkat dengan pesat. Sedangkan proteksi radiasi pada pasien merupakan aspek penting dalam pelayanan yang perlu mendapat perhatian secara berlanjut yang mengharuskan pemberian radiasi serendah mungkin sesuai dengan kebutuhan klinis. Salah satu sumber radiasi yang paling banyak digunakan adalah pesawat sinar-x.

Aplikasinya dalam bidang kesehatan baik untuk keperluan diagnostik maupun untuk tujuan terapi serta di bidang industri, antara lain untuk radiografi. Sinar-x memiliki potensi bahaya radiasi, maka dalam pemanfaatannya harus memperhatikan aspek proteksi radiasi. Selain itu, pesawat sinar-x juga harus dalam kondisi yang baik dan dalam perawatan sesuai dengan program jaminan kualitas.

Sinar-x dihasilkan oleh tabung sinar-x yang mendapat suplai energi dari generator sinar-x. Generator sinar-x adalah salah satu dari elemen dari sistem pembangkit sinar-x. Generator sinar-x ini berfungsi untuk mengatur parameter paparan radiasi, yaitu tegangan tinggi (kV), arus tabung (mA) dan waktu paparan (s) berpengaruh pada *image contrast*, *image brightness* dan dosis pasien.

Keluaran intensitas radiasi dari sistem generator sinar-x dipengaruhi oleh arus listrik, waktu penyinaran, besarnya potensial dan jarak target. Secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$Keluaran = \frac{k(I.t)(V)^2}{d^2} \quad (1.1)$$

dengan,

k = konstanta penyinaran

I = arus tabung

t = waktu penyinaran

V = Potensial tabung sinar-x

d = jarak target terhadap sumber radiasi

Untuk itu sangatlah penting memonitor parameter-parameter tersebut khususnya tegangan tinggi (kV), arus tabung (mA), dan waktu paparan (t), reproduksibilitas sinar-x, dan kecukupan nilai HVL tabung sinar-x. Ketepatan pengaturan tegangan kerja, arus, dan waktu merupakan hal yang sangat penting untuk menilai kehandalan pesawat sinar-x.

Dari hal tersebut di atas maka penulis mencoba untuk mengevaluasi keluaran sinyal generator sinar-x menggunakan metode *non-invasive*. Dari evaluasi dapat diketahui keluaran sinyal yang dihasilkan oleh generator sinar-x tersebut apakah merupakan generator satu fasa dan generator dengan nilai potensial konstan. Bentuk sinyal yang dihasilkan juga akan menunjukkan apakah generator tersebut dalam kondisi normal atau terdapat ketidaksesuaian fungsi dengan standar spesifikasi nya baik pada sistem *loading*, *rectifier*, *contactor*, *shutter*, *cable* ataupun *connector arcing*-nya.

Selain itu akan dievaluasi juga performa generator sinar-x berdasarkan uji akurasi tegangan kerja, waktu paparan dan nilai HVL. Berdasarkan hasil uji fungsi yang terkait generator tersebut akan dapat diketahui apakah pesawat yang lolos uji fungsi memiliki generator yang berfungsi sesuai dengan standar spesifikasi nya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengevaluasi keluaran sinyal generator sinar-x dan mendeteksi jenis ketidaksesuaian fungsi sistem *loading*, *rectifier*, *contactor*, *shutter*, *cable* ataupun *connector arcing* pada generator dari bentuk sinyal yang dihasilkan pada program *Xi View Unfors*.
- b. Mengevaluasi korelasi uji fungsi terhadap kinerja generator.

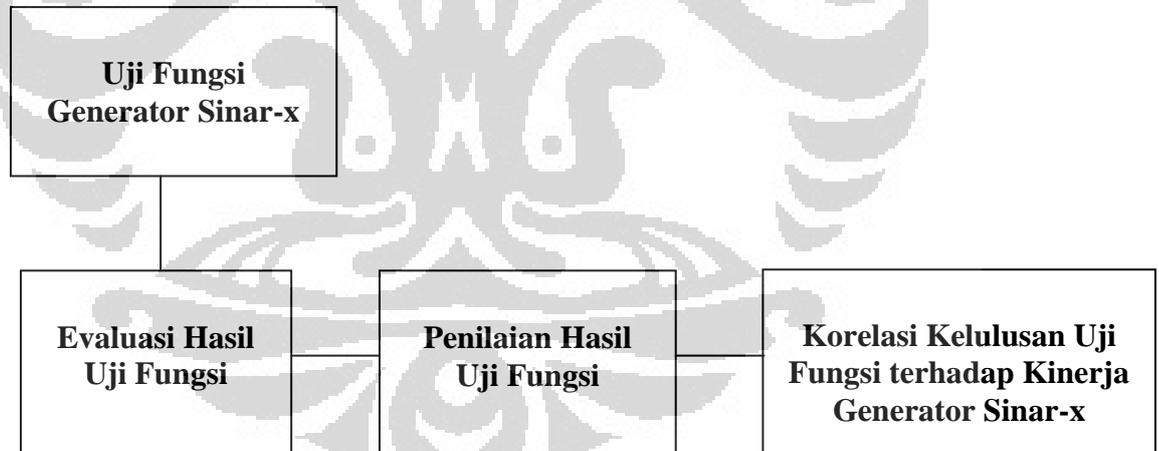
1.3 Pembatasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah membahas tentang evaluasi keluaran sinyal generator sinar-x dilihat dari bentuk sinyal yang dihasilkan pada program *Xi View Unfors*.

1.4 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahap antara lain:

1. Uji fungsi generator sinar-x.
2. Mengevaluasi hasil yang didapat dari uji fungsi. Evaluasi yang dilakukan dalam berupa perhitungan keakurasian tegangan kerja dan waktu keja.
3. Melakukan penilaian hasil uji fungsi generator sinar-x apakah masih dalam range toleransi atau tidak, dengan melihat kepada referensi.
4. Mengevaluasi korelasi kelulusan uji fungsi terhadap kinerja generator sinar-x.



Gambar 1.1 Skema Metodologi Penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Skripsi ini terdiri dari bab-bab yang memuat beberapa sub-bab. Untuk memudahkan pembacaan dan pemahaman maka Skripsi ini dibagi menjadi beberapa bab yaitu:

BAB 1 Pendahuluan

Pendahuluan berisi latar belakang permasalahan, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penulisan dan sistematika penulisan dari skripsi ini.

BAB 2 Teori Dasar

Teori dasar berisi landasan-landasan teori sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan Evaluasi Keluaran Sinyal Generator Sinar-x .

BAB 3 Metode Penelitian

Berisi tentang bahan dan peralatan yang diperlukan serta cara pengambilan datanya.

BAB 4 Hasil dan Analisa

Pada bab ini akan ditampilkan hasil penelitian dan analisis data yang diperoleh dari penelitian.

BAB 5 Penutup

Bab yang terakhir ini berisi kesimpulan dari analisis hasil penelitian dan saran untuk pengembangan lebih lanjut penelitian ini sehingga untuk kedepannya penelitian yang serupa akan lebih baik lagi.

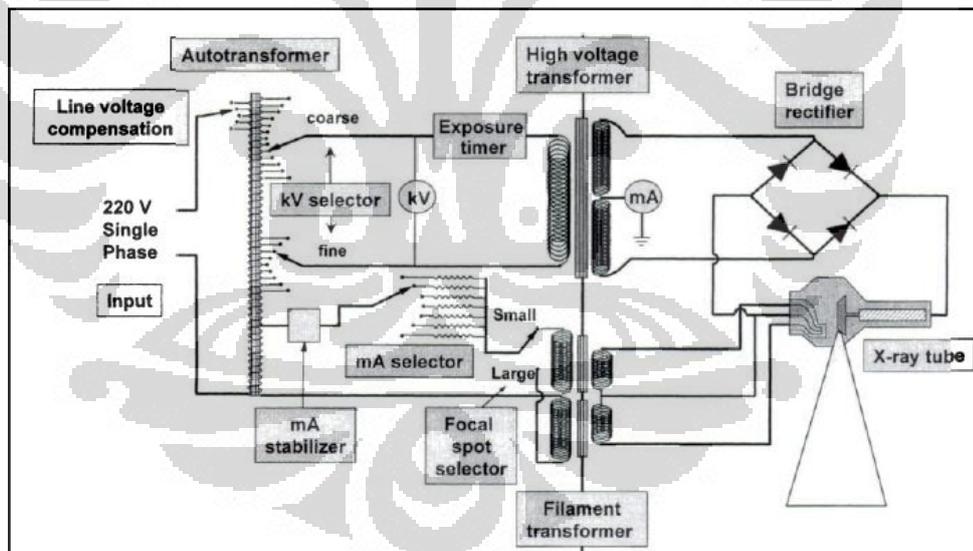
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Generator Sinar-x

Generator sinar-x adalah peralatan yang menyuplai energi untuk tabung sinar-x. Generator sinar-x berfungsi untuk mengatur parameter paparan radiasi, yaitu tegangan tinggi (kV), arus tabung (mA) dan waktu paparan (s) yang berpengaruh pada *image contrast*, *image brightness* dan dosis pasien. Nilai tegangan tinggi (kV) menentukan energi atau kuantitas dari sinar-x, sehingga menentukan daya tembus sinar-x sedangkan nilai arus tabung (mA) menentukan densitas dari kuantitas sinar-x, sehingga menentukan dosis sinar-x.

Generator sinar-x juga melindungi tabung sinar-x dari kemungkinan bahaya *overload*. Dimana kombinasi antara potensial tabung, arus tabung dan waktu paparan akan menghasilkan banyak energi ke *focal spot* yang tidak dibolehkan pada sirkuit generator sinar-x.



Gambar 2.1 Diagram Generator Sinar-x dengan Tabung Sinar-x *Single-Phase*. [Sumber : The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Resident, J. Anthony Seibert, PhD].

Ada beberapa jenis generator yaitu generator *single-phase*, *three-phase*, *high-frequency inverter* dan generator *constant potential*. Dalam

penelitian ini digunakan generator *single-phase* dan generator *constant potential*.

2.1.1 Generator *Single-Phase*

Generator *single-phase* dengan *rectifier* gelombang penuh ditunjukkan pada gambar 2.1. Terdiri dari dua sisi utama yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Waktu paparan minimum dari generator tipe ini adalah $1/120$ *second* atau ~ 80 msec. Batasan ini dihasilkan dari spesifikasi mekanik kontak switch yang sering digunakan pada sisi primer seperti generator. Generator *single-phase* ini memiliki *ripple* 100 %.

Generator *single-phase* secara umum memiliki mekanisme kerja dimana pada saat power dihidupkan, tegangan PLN akan termonitor oleh *voltage selector*. Perubahan nilai tegangan yang terjadi dan termonitor pada *voltage selector* akan dikompensasikan oleh *voltage compensator* sampai didapat nilai tegangan yang dibutuhkan oleh pesawat sinar-x meskipun terjadi perubahan tegangan pada PLN. Sehingga didapatkan perbandingan transformasi antara tegangan dan lilitan primer dengan tegangan dan lilitan pada sekunder adalah tetap, dengan demikian diperoleh nilai tegangan pada setiap lilitan akan tetap.

Setelah melalui auto transformator, terjadi pengaturan tegangan kerja (kV), dan waktu paparan (s). Besarnya nilai tegangan kerja (kV) yang diberikan akan disesuaikan pada bagian kV *major* dan *minor selector*. Dimana kV *major selector* ini berfungsi untuk memilih tegangan tinggi/ beda potensial antara anoda dan katoda yang besar selisih tiap terminalnya 10 kV. Sedangkan kV *minor selector* berfungsi untuk memilih tegangan tinggi/ beda potensial antara anoda dan katoda yang besar selisih tiap tegangan terminalnya 1 kV.

Selanjutnya arus akan mengalir ke transformator. Transformator yang digunakan pada generator ini ada dua macam, yaitu tranformator *step-up* dan transformator *step-down*. Transformator *step-up* berperan sebagai *high voltage transformer*. *High Voltage*

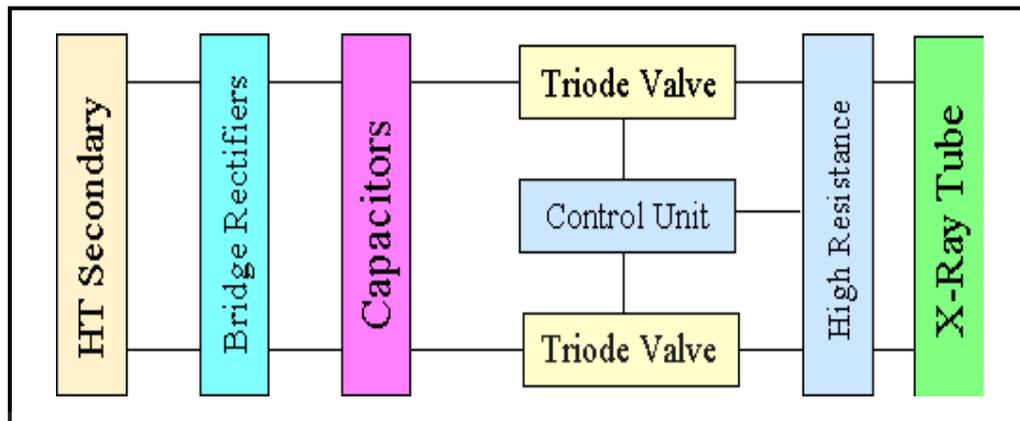
transformer ini akan menaikkan tegangan dan menghasilkan tegangan yang cukup untuk menyuplai tegangan pada sisi anoda tabung sinar-x, sehingga memberikan beda potensial antara anoda dan katoda pada tabung rontgen agar elektron dapat ditarik ke anoda. Disini pulalah tegangan akan disearahkan terlebih dahulu oleh *rectifier* sehingga didapat suplai tegangan sesuai kebutuhan anoda tabung sinar-x.

Sedangkan transformator *step-down* berperan sebagai *filament transformer*, yang akan menurunkan tegangan tersebut dan menghasilkan tegangan yang cukup sekitar 12-24 Volt pada katoda (filamen tabung rontgen) agar dapat terjadi *thermionic emission* pada katoda. Selain itu *filament transformer* ini juga akan mengatur ukuran *focal spot* dan arus kerja (mA). Rangkaian *high voltage transformer* dan *filament transformer* merupakan rangkaian tertutup.

Setelah melewati rangkaian transformator, arus yang mengalir dari sisi *filament transformer* akan mengalir menuju katoda tabung sinar-x. Sampai terjadi beda tegangan yang besar antara anoda dan katoda maka terjadilah proses pembentukan sinar-x didalam tabung sinar-x.

2.1.2 Generator *Constant Potential*

Generator ini dinamakan *constant potential* karena kemampuannya menghasilkan gelombang tegangan tinggi dengan hampir tidak memiliki tegangan *ripple* $< 2 \%$. Pengaturan tabung generator ini baik paparan (on-off tegangan tabung keakuratannya sekitar 20 μ sec) maupun tegangan tinggi pada sisi sekunder (kemampuannya 20-50 μ sec). Pembagi tegangan mengukur kV aktual, yang dibandingkan dengan kV pada sirkuit komparator yang mengatur *grid* elektroda (*feedback*) yang menjamin kestabilan perubahan yang sangat cepat pada pengaturan kV dan *ripple* yang mendekati $< 2 \%$.



Gambar 2.2 Blok Diagram Generator sinar-x *Constant Potential* [sumber : http://www.e-radiography.net/radtech/g/generator_3.htm]

Generator sinar-x terdiri dari beberapa komponen listrik, yaitu :

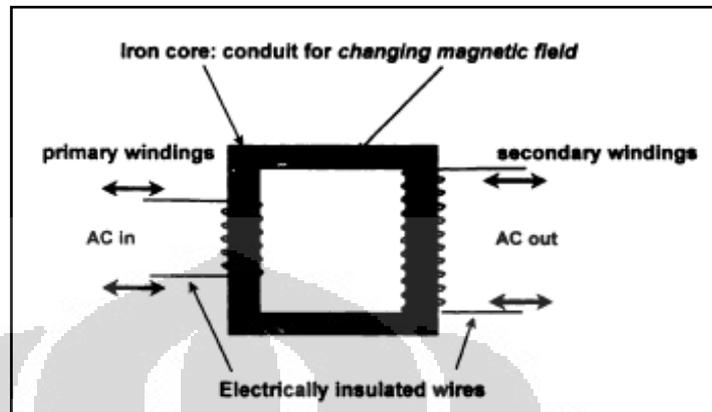
- Transformator
- Auto transformator
- Dioda
- *Rectifier Circuit*
- *Filament Circuit*

2.1.3 Transformator

Transformator adalah alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Secara umum transformator disusun oleh dua buah kumparan induksi yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu *path* yang mempunyai reaktansi yang rendah. Satu lilitan kawat disebut lilitan primer dan yang lain disebut lilitan sekunder.

Kedua kumparan tersebut mempunyai *mutual induction* yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau

menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum Faraday.



Gambar 2.3 Diagram Transformator Sederhana. [Sumber : The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Resident, J. Anthony Seibert, PhD].

Hubungan yang menyatakan tegangan sekunder merupakan hasil dari tegangan primer adalah :

$$V_s = V_p (N_s / N_p) \quad (2.1)$$

dengan :

N_s = Jumlah lilitan sekunder

N_p = Jumlah lilitan Primer

V_s = Tegangan Sekunder

V_p = Tegangan primer

Sedangkan hubungan yang menyatakan persamaan arus dan tegangan adalah :

$$V_p \cdot I_s = V_s \cdot I_p \quad (2.2)$$

dengan :

V_p, I_p = Tegangan dan arus primer

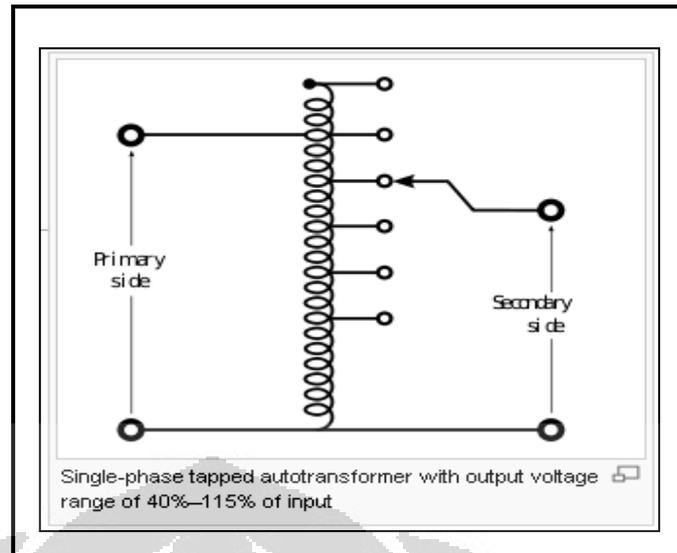
V_s, I_s = Tegangan dan arus sekunder

2.1.4 Auto Transformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Phase arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk nilai daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa.

Keuntungan dari auto transformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Untuk perubahan tegangan pada auto transformator digunakan OLTC (*On Load Tap Changer*) dimana OLTC ini akan mengganti tegangan dengan cara pergantian jumlah lilitan. Tegangan yang dihasilkan akan bervariasi sesuai dengan spesifikasi yang terdapat pada transformator tersebut.

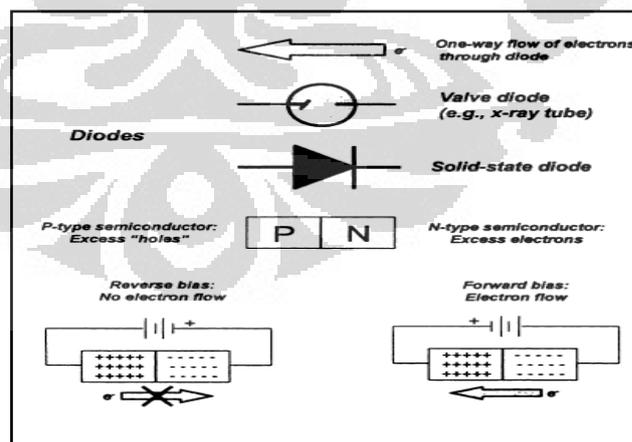
Auto transformator mengkonversikan tegangan dan arus berdasarkan prinsip induktansi diri. Auto transformator disusun oleh lilitan kawat dengan sebuah kawat koil tunggal yang melekat pada input sumber tenaga.



Gambar 2.4 Auto Transformator. [Sumber : The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Resident, J. Anthony Seibert, PhD].

2.1.5 Dioda

Sebagian besar komponen listrik yang terdapat pada generator sinar-x adalah dioda, (peralatan elektronik dengan dua elektroda). Dioda berisi elektron sumber (katoda) dan elektron target (anoda) yang memungkinkan arus mengalir pada satu arah di sepanjang konduktor, meskipun terdapat perubahan polaritas tegangan pada sirkuit listrik.



Gambar 2.5 Sirkuit Diagram Dioda. [Sumber : The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Resident, J. Anthony Seibert, PhD].

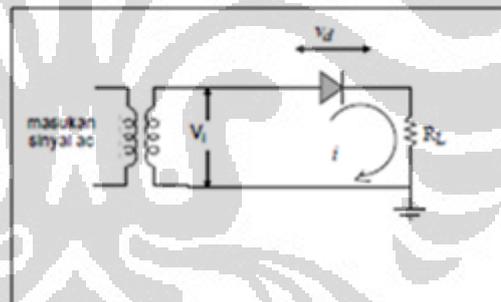
2.1.6 Rectifier Circuit (Penyearah)

Rectifier adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (AC) menjadi sinyal sumber arus searah (DC). Gelombang AC yang berbentuk gelombang sinus hanya dapat dilihat dengan alat ukur CRO. Rangkaian *rectifier* banyak menggunakan transformator *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan perbandingan transformasi transformator yang digunakan.

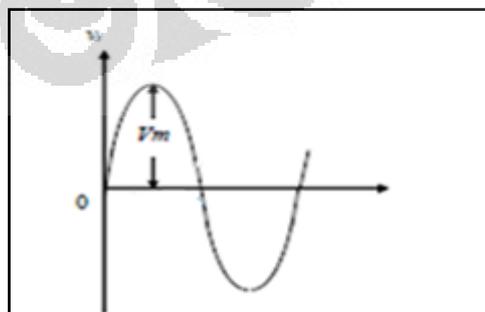
Rectifier dibedakan menjadi 2 jenis, *rectifier* setengah gelombang dan *rectifier* gelombang penuh, sedangkan untuk *rectifier* gelombang penuh dibedakan menjadi *rectifier* gelombang penuh dengan *center tap (CT)*, dan *rectifier* gelombang penuh dengan menggunakan *diode bridge*.

2.1.6.1 Rectifier Setengah Gelombang

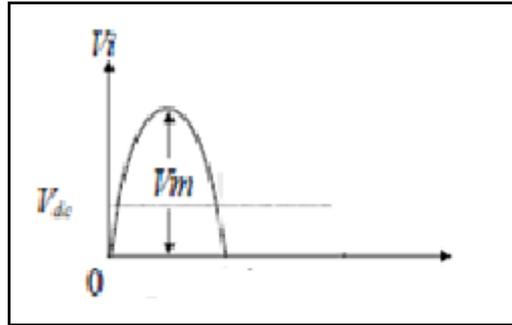
Rectifier setengah gelombang merupakan rangkaian *rectifier* yang paling sederhana, yaitu yang terdiri dari satu dioda.



(a)



(b)



(c)

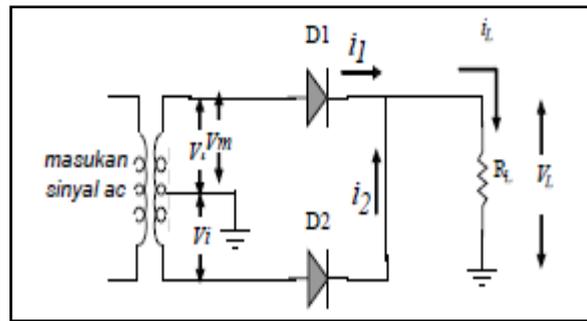
Gambar 2.6 (a) Rangkaian *rectifier* setengah gelombang, (b) tegangan keluaran trafo, (c) tegangan beban.

Prinsip kerja *rectifier* setengah gelombang adalah bahwa pada saat sinyal input berupa siklus positif maka dioda mendapat bias maju sehingga arus (i) mengalir ke beban (RL), dan sebaliknya bila sinyal input berupa siklus negatif maka dioda mendapat bias mundur sehingga tidak mengalir arus.

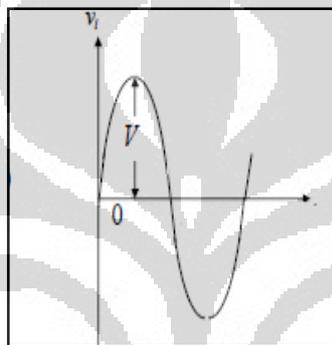
2.1.6.2 *Rectifier* Gelombang Penuh dengan *Center Tap* (CT)

Terminal sekunder dari Trafo CT mengeluarkan dua buah tegangan keluaran yang sama tetapi fasanya berlawanan dengan titik CT sebagai titik tengahnya. Kedua keluaran ini masing-masing dihubungkan ke D1 dan D2, sehingga saat D1 mendapat sinyal siklus positif maka D2 mendapat sinyal siklus negatif, dan sebaliknya. Dengan demikian, D1 dan D2 hidupnya bergantian.

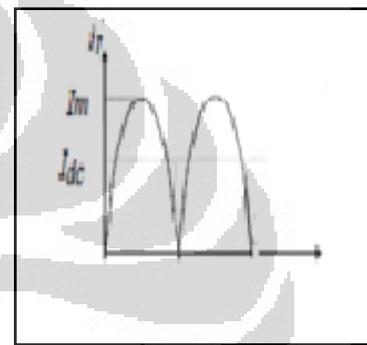
Namun karena arus i_1 dan i_2 melewati tahanan beban (RL) dengan arah yang sama, maka i_L menjadi satu arah. Rangkaian *rectifier* gelombang penuh ini merupakan gabungan dua buah *rectifier* setengah gelombang yang hidupnya bergantian setiap setengah siklus, sehingga arus maupun tegangan rata-ratanya adalah dua kali dari *rectifier* setengah gelombang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.7 (a) *Rectifier* gelombang penuh dengan *center tap*, (b) tegangan keluaran trafo, (c) tegangan beban.

2.1.6.3 *Rectifier* Gelombang Penuh Sistem Jembatan

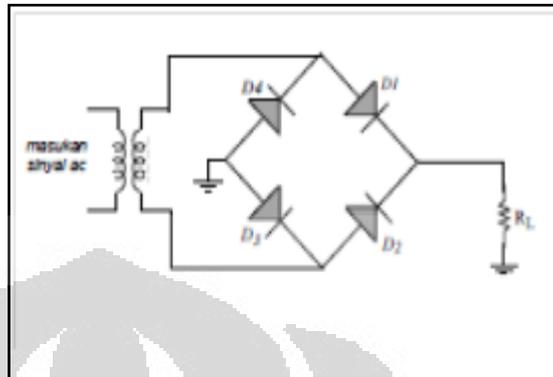
Prinsip kerja rangkaian *rectifier* gelombang penuh sistem jembatan adalah bahwa pada saat sinyal input berupa siklus positif, maka :

- D1 dan D3 hidup (ON), karena mendapat bias maju.
- D2 dan D4 mati (OFF), karena mendapat bias mundur sehingga arus i_1 mengalir melalui D1, RL, dan D3.

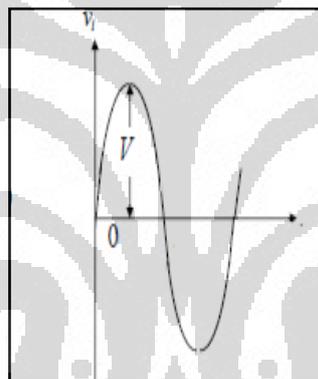
Apabila sinyal input berupa siklus negatif, maka :

- D2 dan D4 hidup (ON), karena mendapat bias maju.
- D1 dan D3 mati (OFF), karena mendapat bias mundur sehingga arus i_2 mengalir melalui D2, RL, dan D4. Dengan

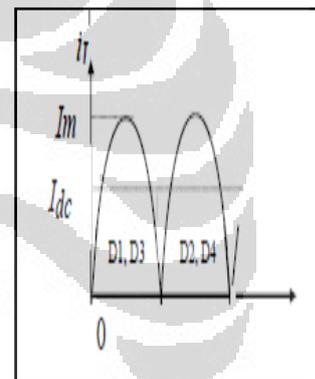
demikian, arus yang mengalir ke beban (i_L) yang merupakan penjumlahan dari dua arus i_1 dan i_2 .



(a)



(b)

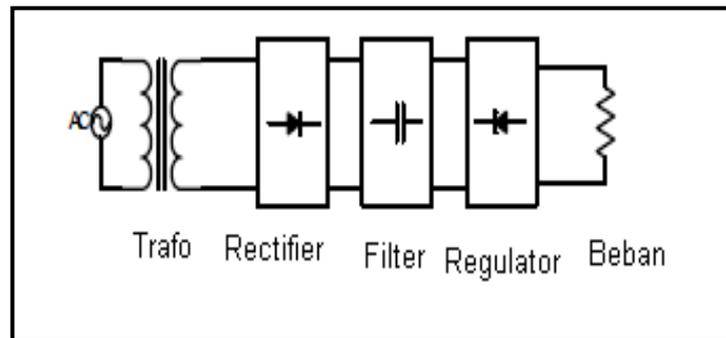


(c)

Gambar 2.8 (a) *Rectifier* Gelombang Penuh Sistem Jembatan, (b) tegangan keluaran trafo, (c) tegangan beban.

2.1.6.4 Rangkaian *Rectifier* Teregulasi

Tujuan dari penggunaan *rectifier* yang teregulasi adalah untuk mendapatkan tegangan keluaran yang konstan bila ada perubahan arus beban.

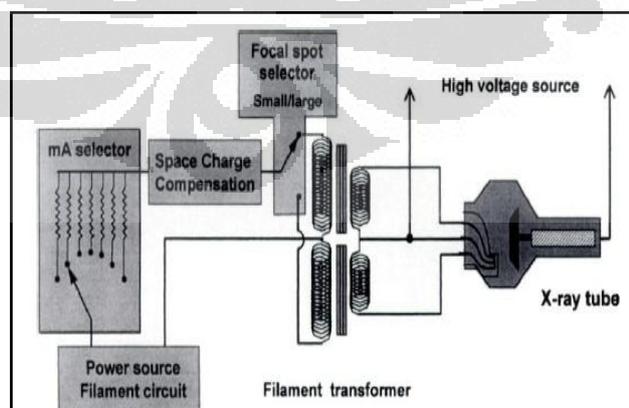


Gambar 2.9 Rangkaian *Rectifier* Teregulasi

Rectifier ini menggunakan tambahan sebuah rangkaian *regulator*, yang berfungsi agar daya keluaran konstan. Komponen rangkaian terpadu (IC) untuk rangkaian penyearah regulasi dapat digunakan sebagai rangkaian *regulator*.

2.1.7 Filament Circuit

Filament circuit berisi sebuah transformator *stepdown* yang terhubung pada garis keluarnya *filament focal spot* pada katoda sinar-x. Saat tabung sinar-x diberi tegangan, arus mengalir melewati filamen terpilih, yaitu filamen arus. Resistansi listrik menyebabkan filamen panas dan dan menghasilkan elektron dengan emisi *thermionic*. Semakin besar arus semakin panas dan semakin banyak pula elektron yang dihasilkan.

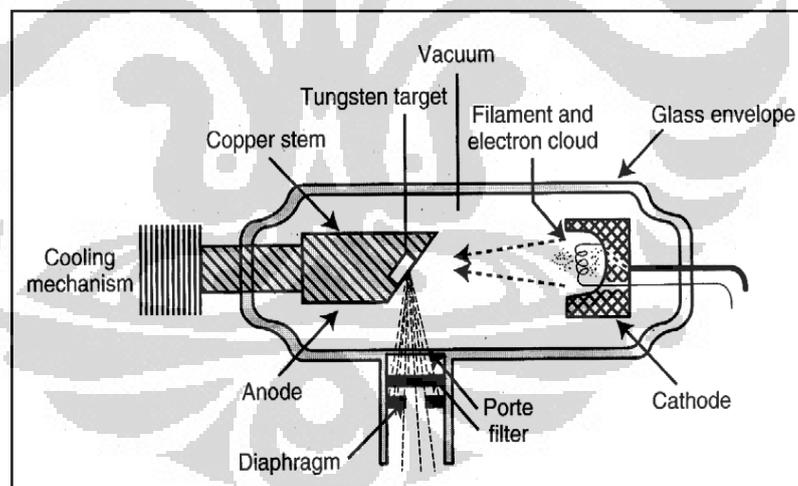


Gambar 2.10 Diagram Komponen *Filament Circuit*. [Sumber : The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Resident, J. Anthony Seibert, PhD].

2.2 Tabung Sinar-x

Sinar-x dihasilkan oleh tabung sinar-x yang memiliki mekanisme sebagai berikut :

- 1) Akibat adanya beda tegangan yang tinggi antara kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda) maka akan timbul awan elektron pada katoda.
- 2) Kutub negatif yang merupakan filament apabila ada arus listrik yang mengenainya maka terbangkitkanlah elektron katoda yang akan menuju pada anoda (target).
- 3) Adanya perbedaan energi pada kulit atom target akan menyebabkan perpindahan orbit elektron kulit atom target sehingga terjadi ketidakstabilan pada kulit inti atom target.
- 4) Akibat terjadinya perpindahan elektron dari katoda ke anoda maka akan terjadi tumbukan elektron katoda ke anoda disertai pancaran energi berupa sinar-x.



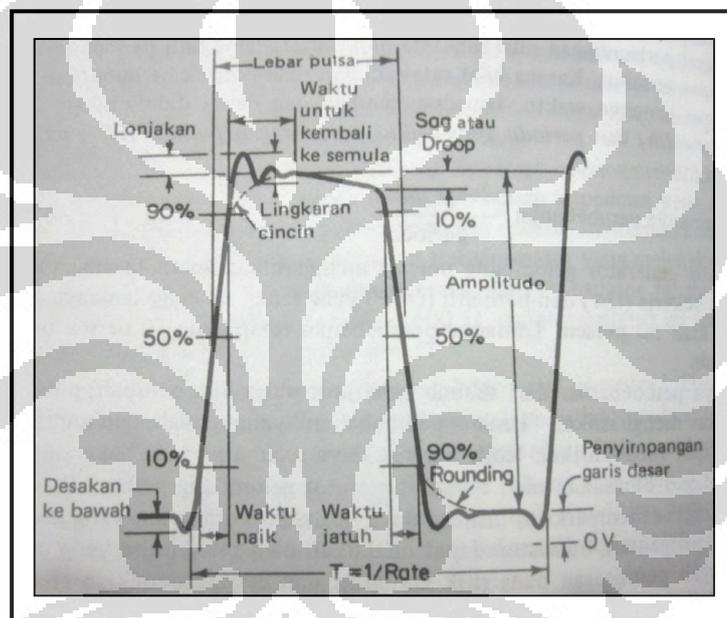
Gambar 2.11 Komponen Tabung Sinar-x

2.3 Karakteristik sinyal dan istilah yang digunakan

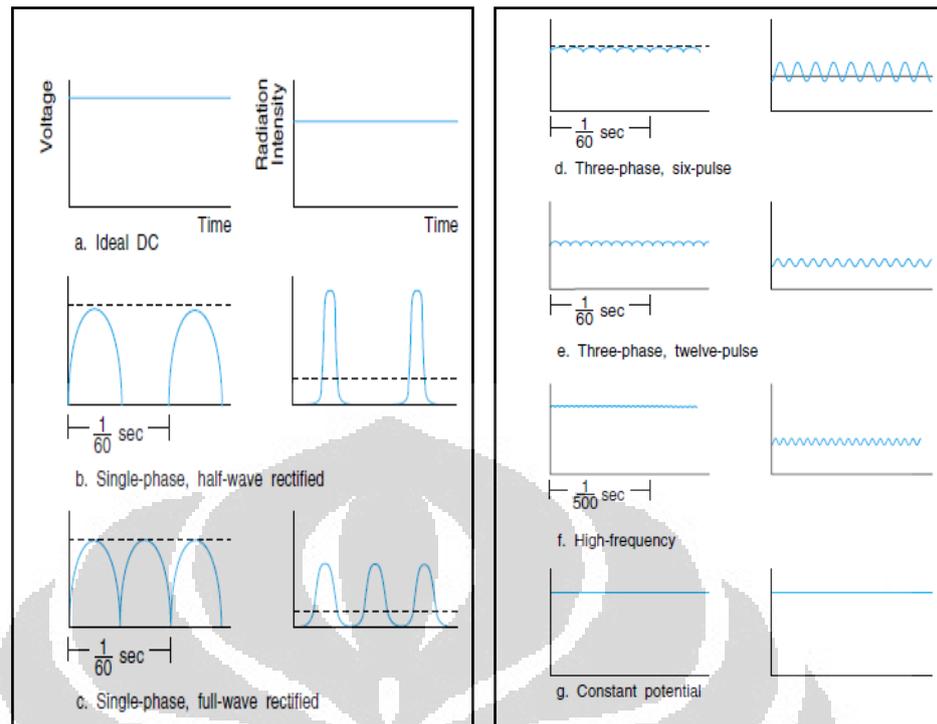
Waktu yang dibutuhkan oleh sinyal agar bertambah dari 10 persen menjadi 90 persen dari amplitudo normalnya disebut waktu naik (*rise time*). Dengan cara yang sama, waktu yang diperlukan oleh sinyal agar turun dari 90

menjadi 10 persen dari amplitudo maksimalnya disebut waktu jatuh (*fall time*). Umumnya waktu naik dan waktu jatuh sinyal akan lebih cepat dari rangkaian atau komponen yang diuji.

Bila kenaikan amplitudo awal melebihi nilai yang sebenarnya, terjadi lonjakan (*overshoot*) atau *ringing* (peredaman dalam sinyal keluaran sebagai akibat dari perubahan sinyal masukan yang tiba-tiba). Lonjakan ini mungkin dapat dilihat sebagai *pip* (bintik cahaya yang menyatakan pantulan) tunggal. Bila amplitudo maksimal dari sinyal tidak konstan tetapi berkurang secara pelan-pelan, sinyal disebut *droop* atau melengkung ke bawah (*sag*).



Gambar 2.12 Karakteristik Sebuah Sinyal. [Sumber : Cooper, William D. *Electronic Instrumentation and Measurement Technique*. (Ed. Ke-2). Trans. Ir. Sahat Pakpahan. Jakarta : Erlangga, 1999]



Gambar 2.13 Bentuk Tipikal Gelombang : (kiri) gelombang pada tegangan sekunder, (kanan) gelombang intensitas radiasi, [sumber: hpcs 2003].

2.4 Distorsi Gelombang

Distorsi adalah fenomena yang terjadi pada sirkuit rangkaian atau jaringan yang menyebabkan perbedaan bentuk antara sinyal input dan sinyal output. Ada tiga kemungkinan penyebab distorsi tersebut, yaitu distorsi frekuensi, distorsi *non-linear* (amplitudo), dan distorsi *phase* atau *delay*.

2.4.1 Distorsi frekuensi

Distorsi frekuensi terjadi karena adanya amplifikasi yang tidak sama komponen frekuensi yang berbeda pada sinyal yang dihasilkan. Sinyal input dibandingkan dengan komponen dasar dan *second harmonic-frequency*. Jika sinyal *input* diberikan ke *amplifier* maka akan memiliki *output* n waktu dari tegangan input frekuensi dasar, dan $2n$ waktu *input* untuk komponen *second-harmonic*.

Kedua komponen tersebut akan menghasilkan amplitudo *output* dan jumlah keduanya akan menentukan keluaran sinyal *output*. Lebarnya sinyal *output* yang berbeda dari sinyal *input*, berarti terjadi distorsi frekuensi.

2.4.2 Distorsi *non-linear* (amplitudo)

Distorsi ini terjadi bila kurva amplitudo *input-output amplifier non-linear*, atau jika amplitudo tegangan *input* yang berbeda tidak teramplifikasi dengan sama. Ini merupakan hasil dari karakteristik transfer dinamis tabung vakum *non-linear*, atau hubungan *non linear* antara *base-collector, emitter-collector transistor*. Distorsi *non-linear* dikenal juga dengan intermodulasi.

Untuk frekuensi input tunggal karakteristik *non-linear* adalah harmonik, atau menghasilkan frekuensi pada *output* yang tidak dihasilkan pada *input*. Jika dua atau lebih frekuensi secara simultan dihasilkan pada *input*, selain harmonik, frekuensi yang merupakan total dan beda jumlah *integral* dari frekuensi keseluruhan yang di hasilkan akan dihasilkan juga pada *output*.

2.4.3 Distorsi *phase* atau *delay*

Distorsi ini terjadi jika hubungan phase antar komponen frekuensi yang bervariasi dan menghasilkan gelombang bunyi yang tidak sama baik pada *output* maupun *input*. Hal ini berarti waktu transmisi yang melalui sirkuit berbeda, untuk frekuensi yang bervariasi. Gelombang dasar *input* dan *second harmonic* dan transmisi waktu *second harmonic* yang berbeda dari waktu dasar berarti terjadi distorsi *phase*.

2.5 Uji Fungsi atau Uji Kesesuaian

Uji Kesesuaian adalah uji untuk memastikan bahwa Pesawat Sinar-x memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan memberikan informasi diagnosis yang tepat dan akurat. Uji kesesuaian merupakan dasar dari suatu

program jaminan mutu radiologi diagnostik yang mencakup sebagian tes program jaminan mutu, khususnya parameter yang menyangkut keselamatan radiasi.

Tabel 2.1 Batas Toleransi Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-x

No	Jenis Pengujian	Western Australia
1	Uji Akurasi kV	$\pm 6\%$ untuk $kVp \leq 100$ kVp
2	Uji Akurasi Waktu Paparan	$\pm 10\%$
3	Uji Linearitas Keluaran Radiasi	$\pm 10\%$
4	Uji Reproduksi Keluaran Radiasi	$\pm 5\%$
5	Pengukuran HVL @70 kVp	$\geq 1,5$ mmAl

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan pada saat melakukan penelitian. Ada beberapa generator sinar-x yang digunakan dalam penelitian ini. Pengukuran keluaran sinyal generator sinar-x tersebut menggunakan metode *non-invasive* yaitu suatu teknik pengukuran yang tidak bersentuhan langsung baik diluar maupun yang masuk ke dalam anggota tubuh manusia. Dalam metode *non-invasive* ini detektor yang digunakan adalah detektor *unfors*, yang dihubungkan ke komputer dengan program *Xi View Unfors*.

Detektor *Unfors* adalah alat ukur yang didalamnya terdapat detektor/bahan yang sensitif terhadap radiasi (terdiri sepasang dioda yang dirangkakan, perbandingan sinyal-sinyal dioda yang difilter dengan rentang 40 kV-150 kV ini akan bergantung pada energi berkas sinar-x yang ditentukan oleh tegangan tabung) dan peralatan pendukung yang berfungsi mengubah respon detektor menjadi informasi yang mudah diamati.

3.1 Penilaian hasil uji fungsi

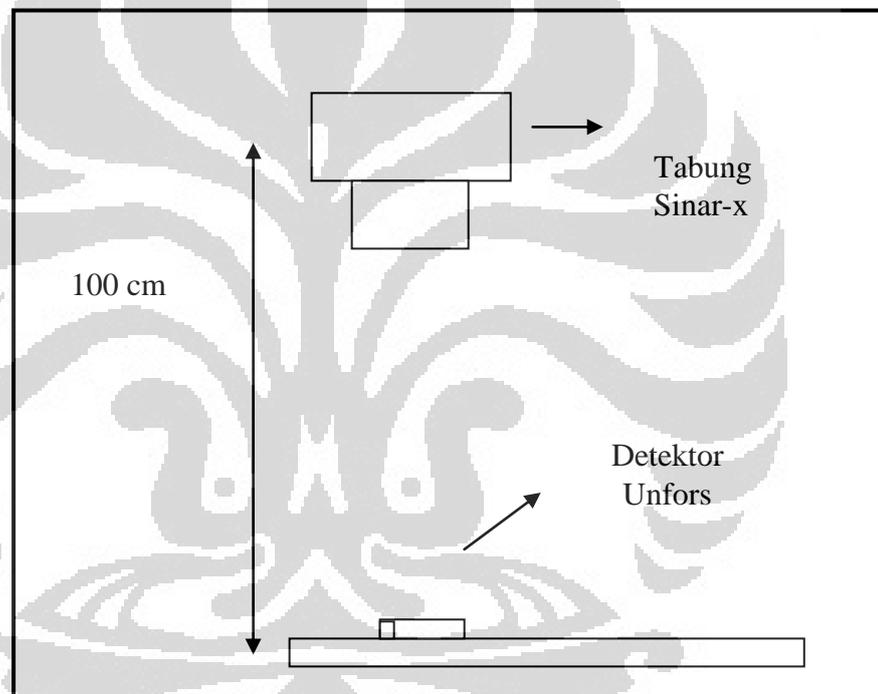
Penilaian hasil uji fungsi ini dilakukan dengan melakukan analisa fungsi generator sinar-x menggunakan data yang telah diukur di PTKMR meliputi berbagai jenis generator *constant potential* dan *single-phase*. Kemudian hasil dari uji fungsi dibandingkan dengan referensi dari *Western Australia*.

3.1.1 Pengaturan Posisi Pengukuran

Dilakukan pengaturan posisi detektor *unfors* terhadap tabung sinar-x. Detektor *unfors* diletakkan pada jarak 100 cm dari fokus sumber radiasi pesawat sinar-x. Kesesuaian titik fokus dilihat dari letak titik laser yang berada tepat pada titik tengah detektor.



Gambar 3.1 Detektor *Unfors*



Gambar 3.2 Pengaturan Posisi Detektor *Unfors* terhadap Tabung Sinar-x

3.1.2 Prosedur Uji Fungsi Pesawat Sinar-x

Setelah pengaturan posisi, dilakukan pengaturan nilai parameter. Tegangan panel pesawat yang bervariasi mulai dari kV terendah sampai kV tertinggi. Pengaturan nilai parameter tegangan kerja (kV), arus kerja (mA), dan waktu paparan (s) tersebut dilakukan pada *control unit generator* sesuai dengan yang dibutuhkan dalam pengukuran.



Gambar 3.3 *Control Unit Generator*

Adapun parameter uji yang dilakukan dalam uji fungsi pesawat sinar-x dalam penelitian ini hanya yang berkaitan dengan kondisi penyinaran yaitu :

1. Akurasi tegangan kerja (kV)
2. Akurasi waktu paparan (s)
3. Kesesuaian nilai HVL (*Half Value Layer*)

Spesifikasi Pesawat sinar-x yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

1. Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential*
 - a. Tegangan tabung maks. : 320 kV
 - b. Ukuran *focal spot* : 0,4 mm/ 1,0 mm
 - c. *Power* maksimum : (small/large focus) 0,8 kW/1,8 kW
 - d. Arus tabung maks. Pada 320 kV : 2,5 mA/5,6 mA
 - e. *Emergent beam angle* : 40° x 30°
 - f. *Inherent filtration* : 3.0 mm Be + 4 mmAl +0.5 mm Cu
 - g. *Coolant* : Oil
 - h. Tahun penginstalan : 2010
2. Pesawat Sinar-x B, *Constant Potential*
 - a. Tegangan tabung maks. : 150 kV
 - b. Ukuran *focal spot* : 1,2 mm/0,6 mm
 - c. Tahun pembuatan : 2001
3. Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase*

- Tahun penginstalan : 2001
4. Pesawat Sinar-x D, *Single-Phase*
- Tahun penginstalan : 1981

3.2 Evaluasi Hasil Keluaran Sinyal Generator Sinar-x

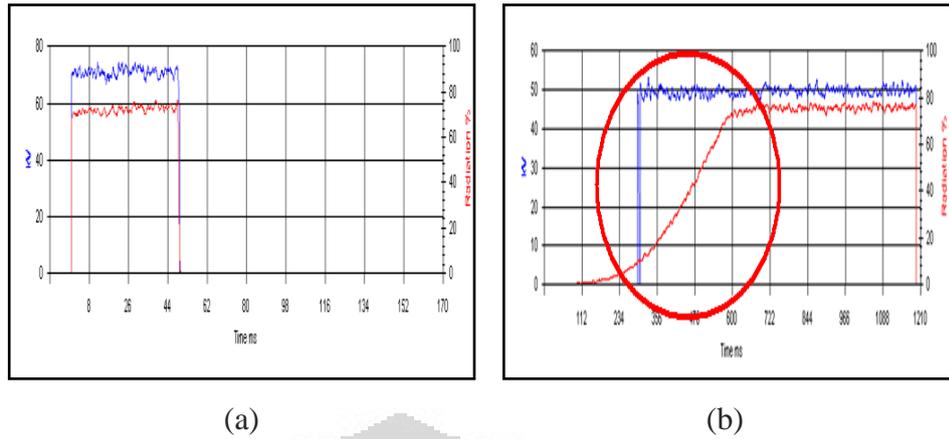
Hasil keluaran sinyal generator sinar-x yang dihasilkan akan ditampilkan pada program *Xi View Unfors*. Parameter-parameter yang dibutuhkan dicatat nilainya. Kemudian keluaran sinyal tersebut dievaluasi, dari bentuk sinyal yang dihasilkan dapat dilihat dan dievaluasi apakah terdapat kerusakan pada generator sinar-x tersebut baik pada sistem *loading*, *rectifier*, *contactor*, *shutter*, *cable* ataupun *connector arcing*-nya. Melakukannya berulang dengan variasi nilai tegangan kerja (kV), arus kerja (mA) dan waktu paparan (s) yang berbeda.

Tahapan evaluasi hasil keluaran sinyal generator sinar-x tersebut termasuk evaluasi hasil yang didapat dari uji fungsi, penilaian hasil uji fungsi generator sinar-x, evaluasi korelasi kelulusan uji fungsi terhadap kinerja generator sinar-x.

Contoh evaluasi :

- Pesawat Sinar- x *Constant Potential* :

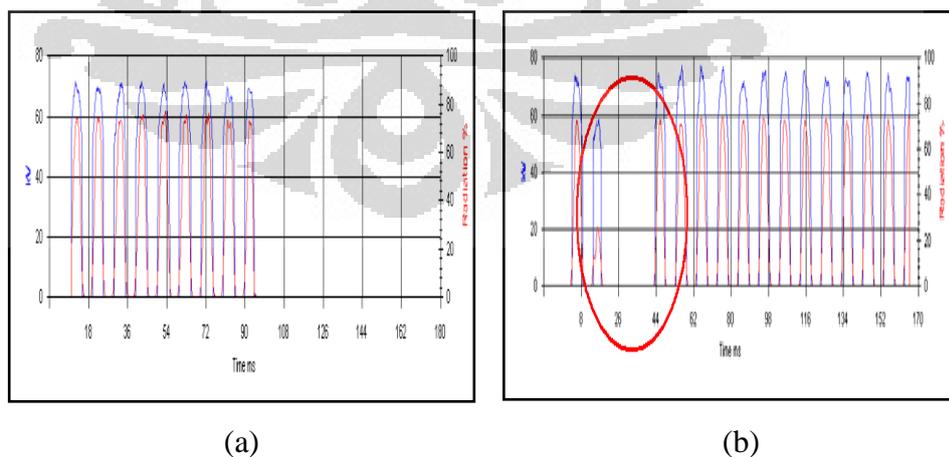
Mengevaluasi hasil uji fungsi berdasarkan keakurasian parameter tegangan kerja (kV) dan waktu paparan (s). Setelah data hasil uji fungsi generator sinar-x *constant potential* menunjukkan bahwa generator tersebut lulus uji fungsi, selanjutnya sinyal keluarannya akan di evaluasi mengenai kemungkinan ketidaksesuaian fungsi dengan standar spesifikasi yang terjadi seperti terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Keluaran Sinyal Generator Sinar-x *Constant Potential* (a) Bentuk keluaran sinyal yang baik, (b) Bentuk keluaran sinyal yang memiliki cacat.

- Pesawat Sinar-x *Single-Phase* :

Mengevaluasi hasil uji fungsi berdasarkan keakurasian parameter tegangan kerja (kV) dan waktu paparan (s). Setelah data hasil uji fungsi generator sinar-x *constant potential* menunjukkan bahwa generator tersebut lulus uji fungsi, selanjutnya sinyal keluarannya akan di evaluasi mengenai kemungkinan ketidaksesuaian fungsi dengan standar spesifikasi yang terjadi seperti terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 (a) Bentuk Keluaran Sinyal yang Baik, (b) Bentuk Keluaran Sinyal yang Memiliki Cacat.

BAB 4

HASIL PENELITIAN dan ANALISA

4.1 Pesawat Sinar-x *Constant Potential*

4.1.1 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential*

4.1.1.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)

Hasil pengukuran tegangan panel ditunjukkan pada tabel 4.1. Data tabel tersebut diperoleh dari penyinaran yang dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi tegangan panel (kV), arus panel (mA) dan waktu (s) tetap. Nilai tegangan panel yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan panel yang digunakan, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.1 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV)

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
50	49,8	0,4
60	60,34	0,567
70	70,46	0,657
80	81,59	1,988
90	91,66	1,844
100	101,82	1,82
120	121,21	1,008
150	150,94	0,627
ΔkV rata-rata		1,114

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda tegangan panel terhadap tegangan terukur berkisar antara 0,657 % sampai 1,988 %. Sedangkan ΔkV rata-rata nya 1,114 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi tegangan kerja

pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 6\%$ untuk ≤ 100 kVp.

4.1.1.2 Akurasi Waktu Paparan(s)

Hasil pengukuran waktu ditunjukkan pada tabel 4.2. Waktu (s) yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan waktu yang disetting pada control panel pesawat sinar-x yaitu 5 s, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.2 Data Akurasi Waktu Paparan (s)

Tegangan Panel (kV)	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	Beda waktu Panel terhadap Waktu Terukur (%)
50	5	5,619	12,38
60	5	5,617	12,34
70	5	5,625	12,5
80	5	5,373	7,46
90	5	5,362	7,24
100	5	4,859	2,82
120	5	5,388	7,76
Δs rata-rata			8,929

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda waktu panel terhadap waktu terukur berkisar antara 2,82 % sampai 12,5 %. Sedangkan Δs rata-rata nya adalah 8,929 s. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi waktu pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 10\%$.

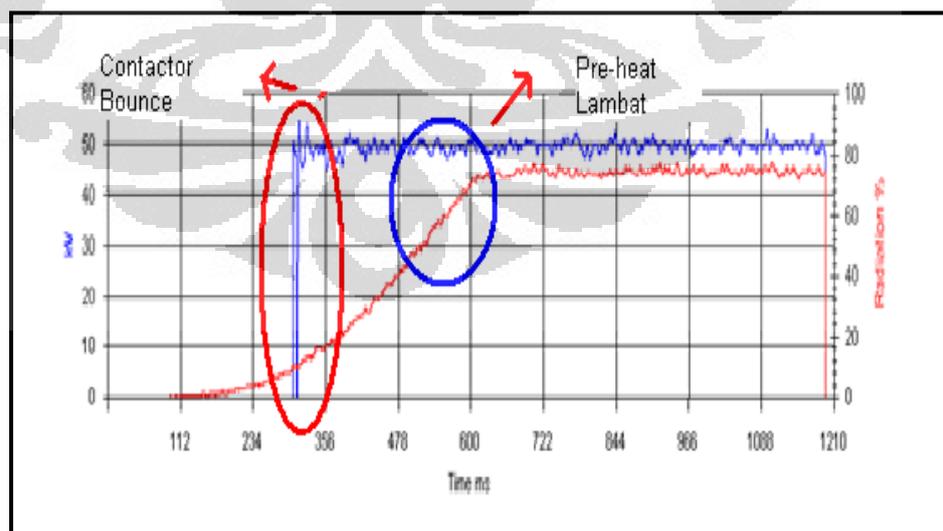
4.1.1.3 HVL (*Half Value Layer*)

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran HVL

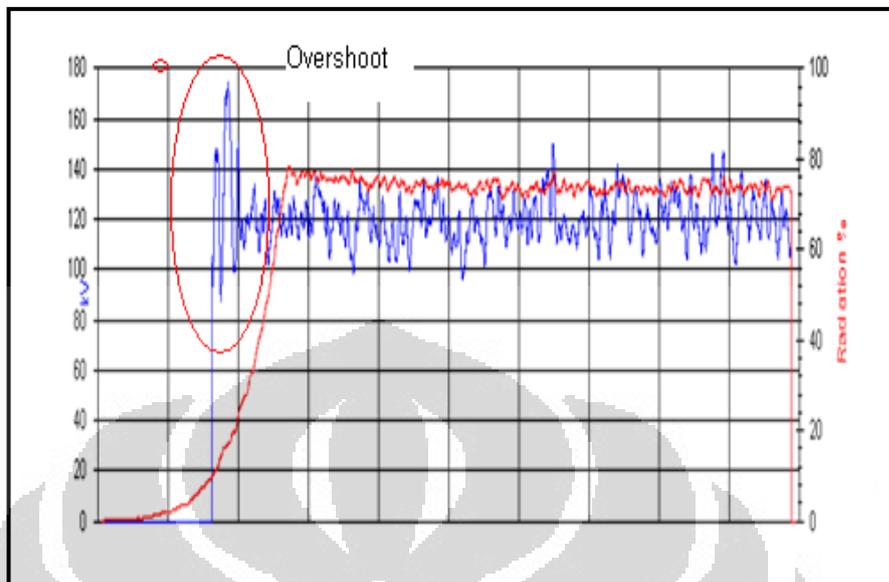
Tegangan Panel (kV)	Kualitas Radiasi (mmAl)
50	1,81
60	2,18
70	2,57
80	2,97
90	3,6
100	4,13
120	5,06

Hasil Pengukuran HVL menunjukkan bahwa pada 70 kV nilai HVL adalah 2,57 mmAl, hal ini sesuai dengan *Western Australia* yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada 70 kVp.

4.1.2 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential*



Gambar 4.1 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential* Kondisi Pengukuran 49,79 kV 5 s



Gambar 4.2 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential* Kondisi Pengukuran 120 kV 5 s

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa kedua gambar tersebut menunjukkan adanya *droop* yang tajam. Hal ini bisa diakibatkan karena adanya *contactor bounce* (terlepasnya kontaktor) pada awal paparan. Terlepasnya kontaktor ini dapat terjadi tidak hanya pada saat awal paparan, tetapi juga pada saat paparan berlangsung.

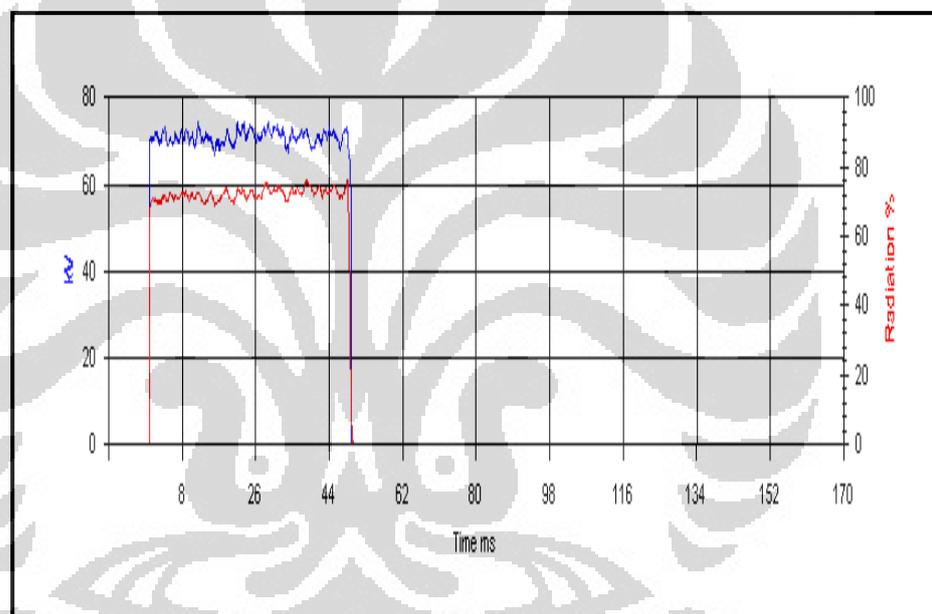
Dapat pula terjadi karena kontaktor dirancang untuk menahan paparan sampai setelah stator arus jatuh pada level yang menunjukkan bahwa anoda telah berputar pada kecepatan nominalnya.

Pada gambar 4.1 juga menunjukkan adanya *pre-heat* yang lambat dimana kurva dosis terlalu rendah pada awal paparan kemudian bertambah sampai mencapai nilai yang sesuai. Seharusnya dosis naik bersamaan dengan kenaikan tegangan kerja (kV) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3. *Pre-heat* ini juga terjadi karena pesawat sinar-x A, *constant potential* yang dipakai ini dirancang untuk waktu paparan yang panjang dan *continuous current* nya rendah. Dimana

sinar-x akan sulit menghasilkan energi yang efektif pada energi rendah.

Sedangkan pada gambar 4.2 menunjukkan adanya *overshoot*. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan amplitudo awal melebihi nilai yang sebenarnya, terjadi lonjakan (*overshoot*) atau *ringing* (peredaman dalam sinyal keluaran sebagai akibat dari perubahan sinyal masukan yang tiba-tiba).

Efek seperti ini dapat dikurangi dengan membebani satu atau lebih fase dengan *surge* resistor pada awal paparan atau memasang resistor secara seri pada rangkaian sesaat sebelum penentuan interval.



Gambar 4.3 Contoh Pengaturan *Pre-Heat* yang Baik.

4.1.3 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat sinar-x B, *Constant Potential*

4.1.3.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)

Hasil pengukuran tegangan panel ditunjukkan pada tabel 4.4. Nilai tegangan panel yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan panel yang digunakan, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.4 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV)

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
40	42,38	5,95
45	46,78	3,956
55	55	0,917
65	64,48	0,8
75	75,66	0,88
85	86,87	1,96
100	100,36	0,36
ΔkV rata-rata		2,118

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda tegangan panel terhadap tegangan terukur berkisar antara 0,917 % sampai 5,95 %. Sedangkan ΔkV rata-ratanya adalah 2,118 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi tegangan kerja pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 6\%$.

4.1.3.2 Akurasi Waktu Paparan(s)

Hasil pengukuran waktu ditunjukkan pada tabel 4.5 Waktu (s) yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan waktu yang disetting pada control panel pesawat sinar-x yaitu 0,05 s, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.5 Data Akurasi Waktu Paparan (s)

Tegangan Panel (kV)	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	Beda Waktu Panel terhadap Waktu Terukur (%)
40	0,05	0,049	1,225
50	0,05	0,048	1,2
60	0,05	0,048	1,2
70	0,05	0,049	1,225
80	0,05	0,049	1,225
90	0,05	0,049	1,225
100	0,05	0,049	1,225
Δs rata-rata			1.218

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda waktu panel terhadap waktu terukur berkisar antara 1,2 % sampai 1,225 %. Sedangkan Δs rata-rata nya adalah 1,218 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi waktu pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 10\%$.

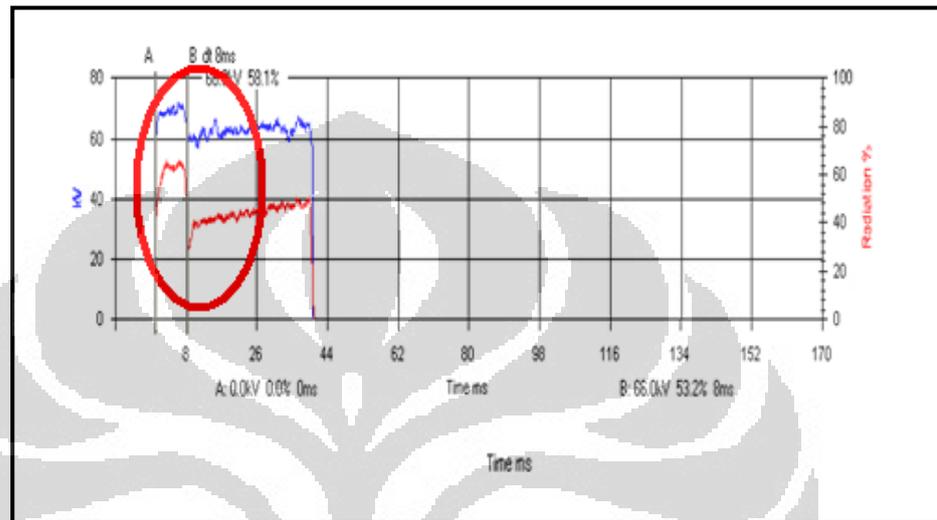
4.1.2.3 HVL (*Half Value Layer*)

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran HVL

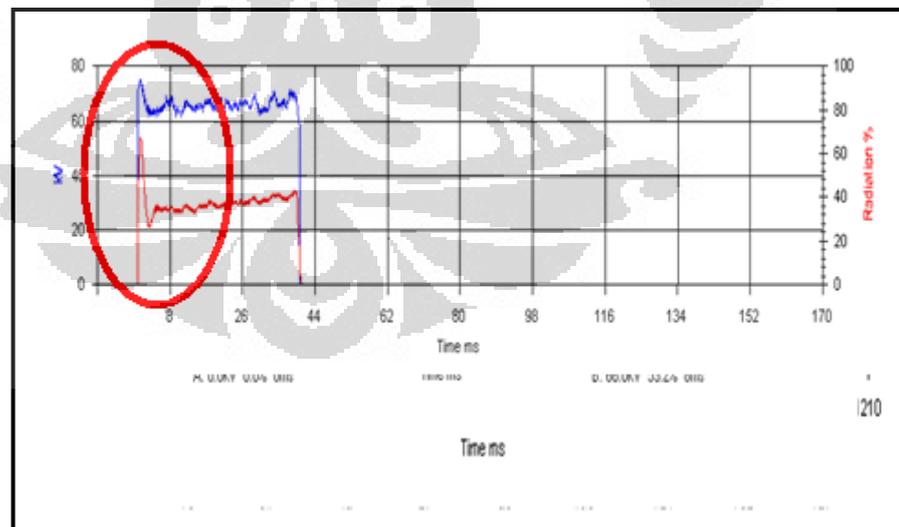
Tegangan Panel (kV)	Kualitas Radiasi (mmAl)
40	1,47
45	1,65
55	1,94
65	2,29
75	2,55
85	2,86
100	3

Hasil Pengukuran HVL menunjukkan bahwa pada 75 kV nilai HVL adalah 2,55 mmAl, hal ini sesuai dengan *Western Australia* yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada rentang 70 kVp.

4.1.4 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, *Constant Potential*



Gambar 4.4 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, *Constant Potential* Kondisi Penyinaran 80 kV 0,04 s.



Gambar 4.5 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, *Constant Potential* Kondisi Penyinaran 70 kV 0,04 s

Dari gambar 4.4 dan gambar 4.5 dapat dilihat bahwa kedua gambar tersebut menunjukkan adanya *overshoot* yang tajam pada awal paparan. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan amplitudo awal melebihi nilai yang sebenarnya, terjadi lonjakan (*overshoot*) atau *ringing* (peredaman dalam sinyal keluaran sebagai akibat dari perubahan sinyal masukan yang tiba-tiba).

Efek seperti ini dapat dikurangi dengan membebani satu atau lebih fase dengan *surge* resistor pada inisiasi paparan shunting resistor sesaat sebelum penentuan interval.

Sinyal juga mengalami *droop* atau melengkung ke bawah (*sag*). Dimana amplitudo maksimal dari sinyal tidak konstan tetapi berkurang secara pelan-pelan. Dengan kata lain *step start* dimana tegangan pada awal paparan akan disesuaikan sampai didapat tegangan yang diinginkan.

4.2 Pesawat Sinar-x *Single-Phase*

4.2.1 Uji Fungsi Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase*

4.2.1.1 Akurasi Tegangan Kerja (kV)

Hasil pengukuran tegangan panel pesawat sinar-x B ditunjukkan pada tabel 4.7 dan tabel 4.8. Nilai tegangan panel yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan panel yang digunakan, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya. Tegangan panel pesawat bervariasi mulai dari tegangan panel (kv) terendah 60 kV sampai tegangan panel (kv) tertinggi 100 kV. Pengukuran tegangan panel ini menggunakan dua kondisi waktu paparan yaitu $t=0,2$ s dan $t=0,1$ s.

Tabel 4.7 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-X C, *Single-Phase* Kondisi $t=0,2$ s

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
60	61,96	3,266
65	66,46	2,246
70	68,76	1,771
80	78,29	2,137
90	88,75	1,388
100	105,74	5,74
ΔkV rata-rata		2,758

Tabel 4.8 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase* Kondisi $t=0,1$ s

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
60	61,78	2,966
70	66,83	4,528
80	78,67	1,663
90	90,67	0,744
ΔkV rata-rata		2,475

Dari tabel 4.7 diatas dapat dilihat bahwa persentase beda tegangan panel terhadap tegangan terukur pada kondisi waktu paparan 0,2 s adalah berkisar antara 1,388 % sampai 5,74 %, dan ΔkV rata-rata nya adalah 2,758 5. Sedangkan pada tabel 4.8 dengan kondisi waktu paparan 0,1 s berkisar antara 0,744 % sampai 4,528 %, dan ΔkV rata-rata nya adalah 2,475 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi tegangan kerja

pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 6\%$ untuk ≤ 100 kVp.

4.2.1.2 Akurasi Waktu Paparan (s)

Hasil pengukuran waktu ditunjukkan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10. Waktu (s) yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan waktu yang disetting pada control panel pesawat sinar-x yaitu 0,2 s dan 0,1 s, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.9 Data Akurasi Waktu Panel (s) Pesawat Sinar-x C, *Single Phase* Kondisi t=0,2 s

Tegangan Panel (kV)	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
60	0,2	0,214	7,000
65	0,2	0,209	4,500
70	0,2	0,205	2,500
80	0,2	0,214	7,000
90	0,2	0,21	5,000
100	0,2	0,21	5,000
Δs rata-rata			5,167

Tabel 4.10 Data Akurasi Waktu Panel (s) Pesawat Sinar-x C, *Single Phase* Kondisi t=0,1 s

Tegangan Panel (kV)	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	Beda Tegangan Panel terhadap Tegangan Terukur (%)
60	0,1	0,103	3,000
70	0,1	0,104	4,000
80	0,1	0,101	1,000
90	0,1	0,101	1,000
Δs rata-rata			2,250

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda waktu panel terhadap waktu terukur pada kondisi waktu paparan 0,2 s adalah berkisar antara 2,5 % sampai 7,00 %, dan Δs rata-rata nya adalah 5,167 %. Sedangkan pada kondisi waktu paparan 0.1 s adalah berkisar antara 1.00 % sampai 4,00 %, dan Δs rata-rata nya adalah 2,250 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi waktu pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah ± 10 %.

4.2.1.3 HVL

Tabel 4.11 Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi t=0.1 s

Tegangan Panel (kV)	Kualitas Radiasi (mmAl)
60	2,13
70	2,29
80	2,47
90	2,67

Hasil Pengukuran HVL menunjukkan bahwa pada 70 kV nilai HVL adalah 2,29 mmAl, hal ini sesuai dengan western Australia yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada 70 kVp.

Tabel 4.12 Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x C, Single Phase kondisi t=0,2 s

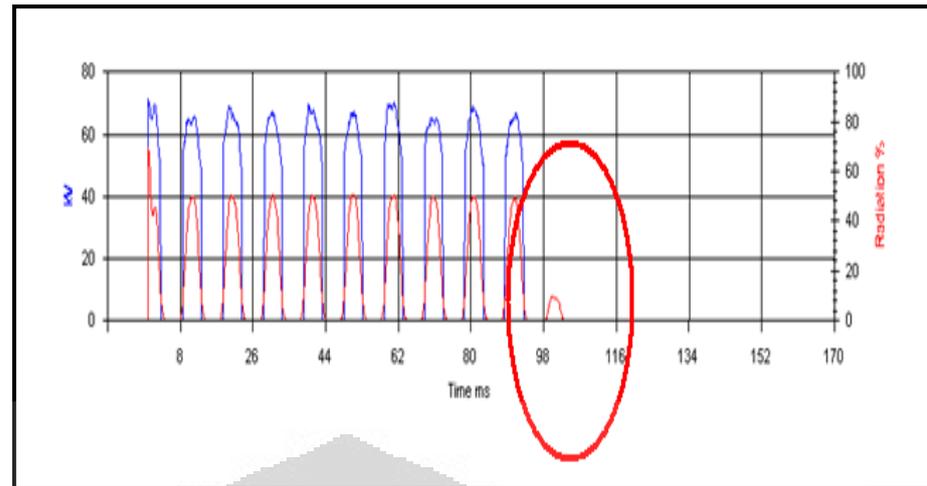
Tegangan Panel (kV)	Kualitas Radiasi (mmAl)
60	2,15
65	2,28
70	2,37
80	2,46
90	2,66
100	2,9

Hasil Pengukuran HVL menunjukkan bahwa pada 70 kV nilai HVL adalah 2,37 mmAl, hal ini sesuai dengan western Australia yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada 70 kVp.

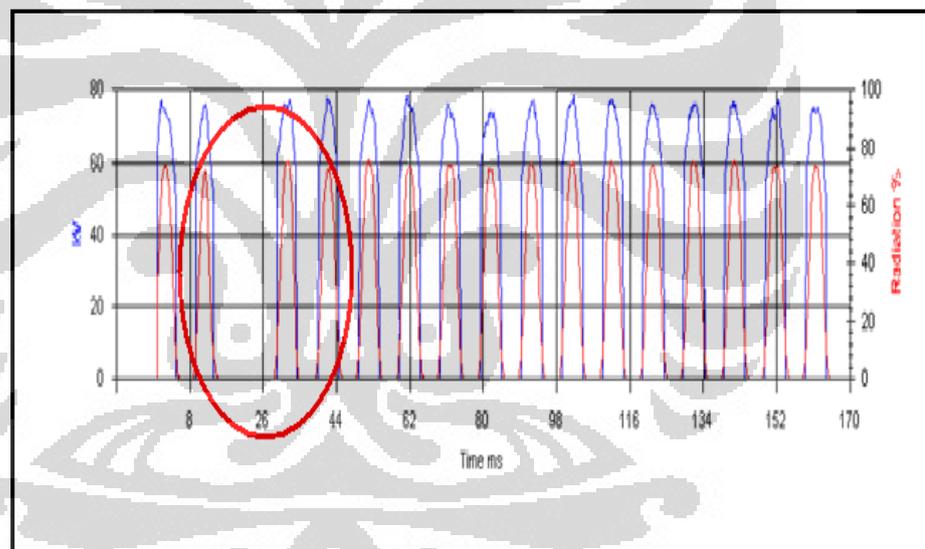
4.2.2 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-X A, Single Phase



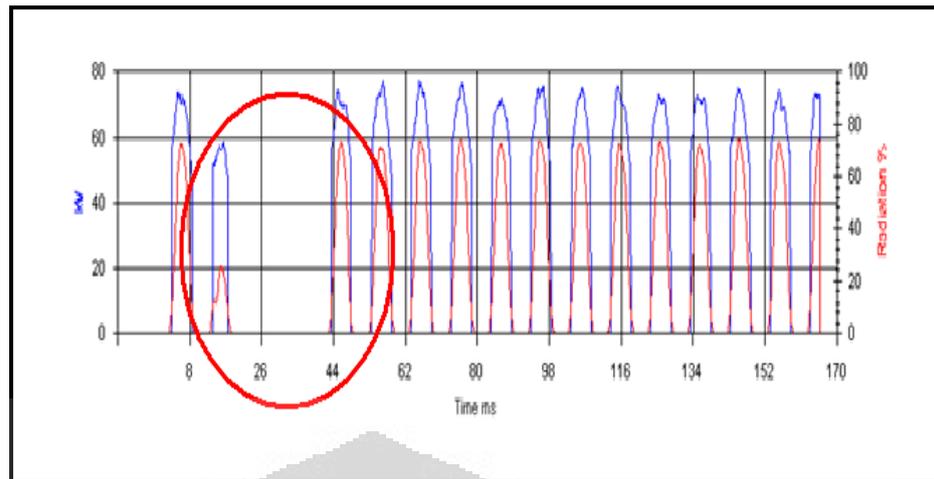
Gambar 4.6 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single-Phase Kondisi Pengukuran 70 kV 0,1 s



Gambar 4.7 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase*
Kondisi Pengukuran 60 kV 0,1 s



Gambar 4.8 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase*
Kondisi Pengukuran 70 kV 0,2 s



Gambar 4.9 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, *Single-Phase* Kondisi Pengukuran 65 kV 0,2 s

Pada gambar 4.6 sampai gambar 4.9 dapat dilihat bahwa dari bentuk gelombang yang dihasilkan gelombang tersebut adalah gelombang dengan *full-wave rectifier*. Gambar 4.6 menunjukkan bahwa dosis radiasi pada akhir paparan mengalami penurunan hal ini disebabkan karena nilai tegangan kerja (kV) yang juga mengalami penurunan.

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa sinyal tegangan (kV) pada akhir paparan hilang sedangkan sinyal yang menunjukkan besarnya radiasi masih ada. Hal ini dapat terjadi karena rendahnya nilai tegangan kerja yang dihasilkan sehingga tidak terdeteksi.

Pada gambar 4.8 dan gambar 4.9 dapat dilihat bahwa adanya sinyal tegangan (kV) dan sinyal radiasi yang tiba-tiba hilang pada saat paparan masih berlangsung. Sinyal yang hilang ini terjadi hanya beberapa siklus saja, hal ini disebabkan karena fungsi *timer* yang kurang baik. Oleh karena itu diperlukan adanya perbaikan pengaturan fungsi *timer* kembali.

4.2.3 Evaluasi Hasil Uji Fungsi Pesawat sinar-x D, *Single Phase*

4.2.3.1 Akurasi tegangan kerja (kV)

Hasil pengukuran tegangan panel ditunjukkan pada tabel 4.13 dan tabel 4.14. Data tabel tersebut diperoleh dari penyinaran yang dilakukan dengan variasi tegangan panel (kV), arus panel (mA) dan waktu (s) tetap. Nilai tegangan panel yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan nilai tegangan panel yang digunakan, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Pengukuran tegangan panel dilakukan mulai dari tegangan panel (kV) terendah 55 kV sampai tegangan panel (kV) tertinggi 100 kV. Pengukuran juga dilakukan dalam dua kondisi 10 mA $t=0,5$ s dan 20 mA $t=0,1$ s.

Tabel 4.13 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Kondisi 10 mA $t=0,5$ s

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Terukur terhadap Tegangan Panel (%)
55	53	3,636
60	61	1,667
65	64,89	0,169
70	69,67	0,471
75	74,89	0,146
80	80,82	1,025
85	84,17	0,976
90	91,19	1,32
95	95,96	1,011
100	101,01	1,01
Δ kV rata-rata		0,851

Tabel 4.14 Data Akurasi Tegangan Kerja (kV) Kondisi 20 mA $t=0,1$ s

Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	Beda Tegangan Terukur terhadap Tegangan Panel (%)
55	53,62	2,509
60	59,19	1,35
65	63,91	1,677
70	69,97	0,043
75	75,09	0,12
80	79,64	0,45
85	83,93	1,258
90	88,21	1,988
95	94,48	0,547
100	95,61	4,39
ΔkV rata-rata		1,257

Dari data diatas dapat dilihat bahwa beda tegangan terukur terhadap tegangan panel pada kondisi pengukuran 10 mA t=0,5 s adalah berkisar antara 0,976 % sampai 3,636 %, dan Δkv rata-rata nya adalah 0,851 5. Sedangkan persentase beda tegangan terukur terhadap tegangan panel pada kondisi pengukuran 20 mA t=0,1 s adalah berkisar antara 0,547 % sampai 4,39 %, dan ΔkV rata-rata nya adalah 1,257 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi tegangan kerja pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah ± 6 %.

4.2.3.2 Akurasi Waktu Paparan (s)

Hasil pengukuran waktu ditunjukkan pada tabel 4.15. Waktu (s) yang terukur diambil rata-rata kemudian dibandingkan dengan waktu yang disetting pada control panel pesawat sinar-x yaitu 0,5 ms, sehingga diperoleh persentase nilai penyimpangannya.

Tabel 4.15 Data Akurasi Waktu Paparan (s)

Dari data diatas dapat dilihat bahwa persentase beda waktu panel terhadap waktu terukur adalah berkisar antara

Tegangan Panel (kV)	Waktu Panel (ms)	Waktu Terukur Tegangan Panel (ms)	Beda Tegangan Panel terhadap Kualitas Radiasi Terukur (%)
50	0,5	0,511	2,200
60	0,5	0,511	2,200
70	0,5	0,512	2,400
80	0,5	0,513	2,600
90	0,5	0,513	2,600
100	0,5	0,516	3,200
Δs rata-rata			2,533

2,200 % sampai 3,200 %. Sedangkan Δs rata-rata nya adalah 2,533 %. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi waktu pesawat sinar x ini masih dalam batas toleransi. Dimana batas toleransi yang ditentukan oleh *Western Australia* adalah $\pm 10\%$.

4.2.3.4 HVL (*Half Value Layer*)

Tabel 4.16 Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x D, Single-Phase Kondisi Pengukuran 10 mA 0,5 s

(kV)	(mmAl)
55	1,72
60	1,65
65	1,79
70	1,9
75	2
80	2,14
85	2,29
90	2,4
95	2,59
100	2,8

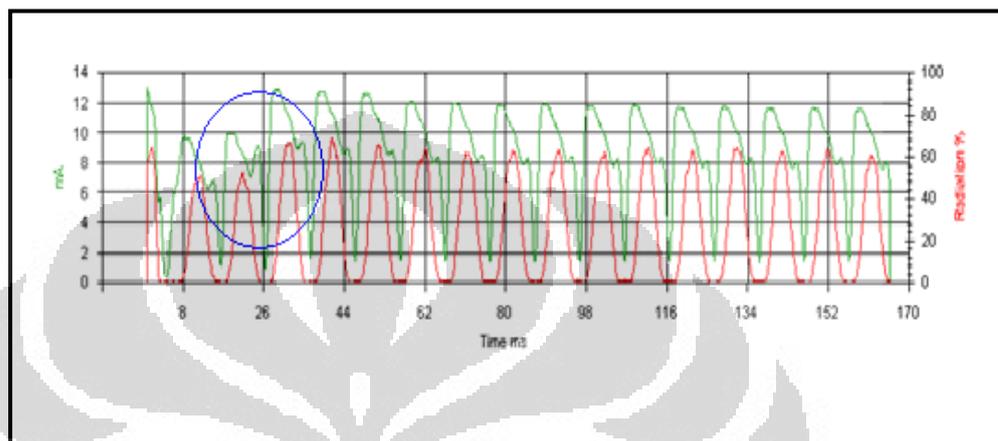
Tabel 4.17 Hasil Pengukuran HVL Pesawat Sinar-x D, Single-Phase Kondisi Pengukuran 20 mA 0,1 s

Tegangan Panel (kV)	Kualitas Radiasi (mmAl)
55	1,71
60	1,71
65	1,73
70	1,81
75	1,93
80	2,06
85	2,23
90	2,44
95	2,52
100	2,69

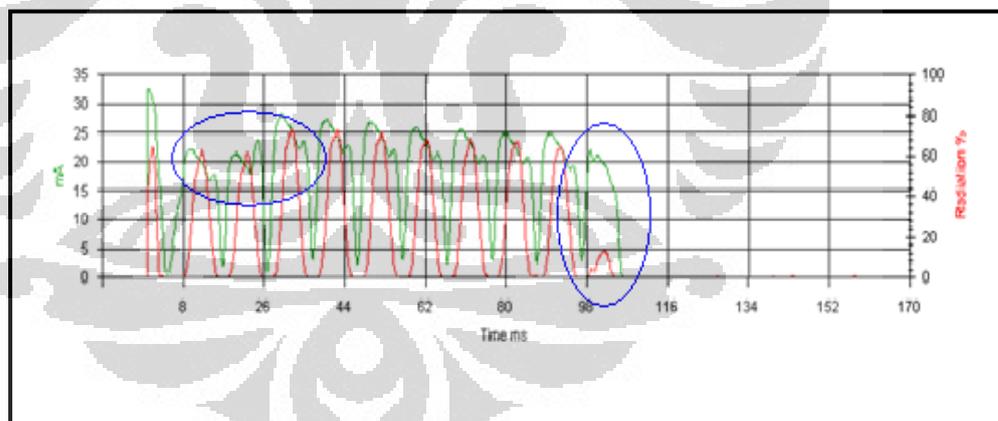
Hasil Pengukuran HVL pada kondisi pengukuran 10 mA 0,5 s menunjukkan bahwa pada 70 kV nilai HVL adalah 1,9 mmAl, hal ini sesuai dengan western Australia yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada 70 kVp. Sedangkan hasil pengukuran HVL

kondisi pengukuran 20 mA 0,1 s menunjukkan bahwa pada 70 kV nilai HVL adalah 1,81 mmAl, hal ini sesuai dengan *Western Australia* yaitu $\geq 1,5$ mmAl pada 70 kVp.

4.2.4 Evaluasi Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-X D, *Single-Phase*



Gambar 4.10 Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, *Single-Phase* Kondisi Penyinaran 80 kV $t=0,5$ s

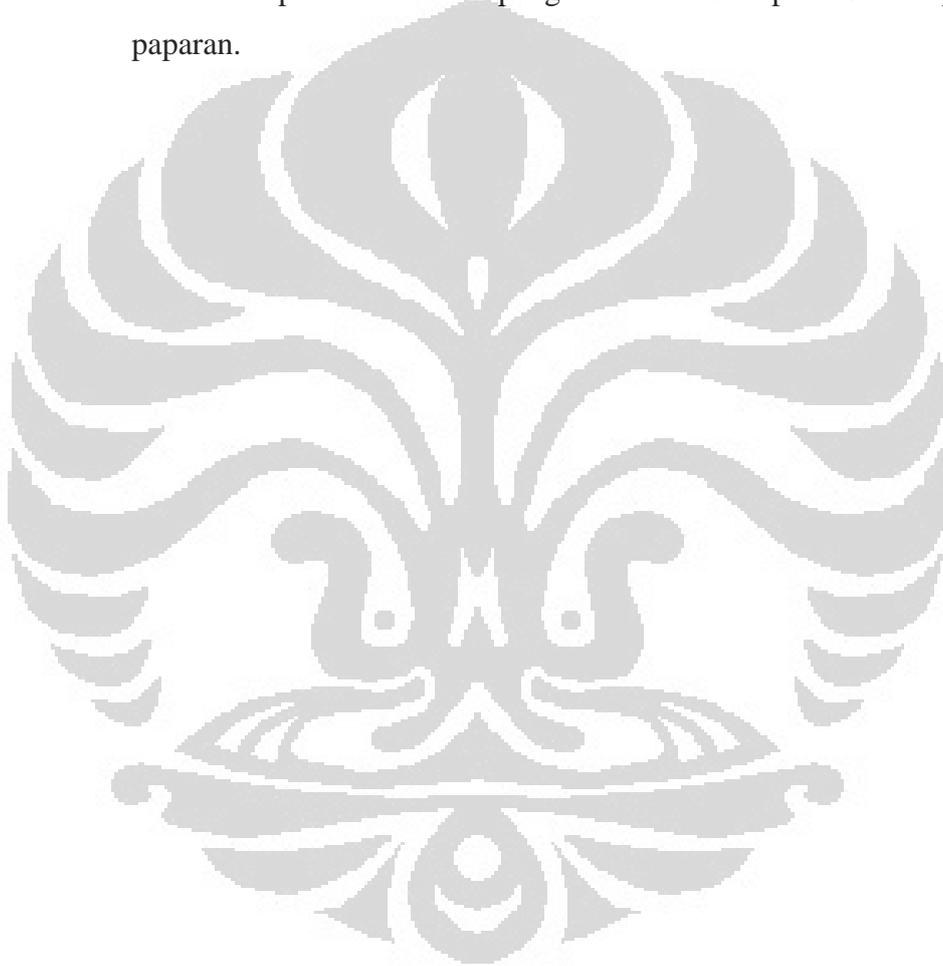


Gambar 4.11 Keluaran Sinyal Pesawat sinar-x D, *Single phase* Kondisi Penyinaran 100 kV $t=0,5$ s

Dari gambar 4.10 diatas dapat dilihat bahwa terjadi drop pada arus tabung, hal ini dikarenakan adanya arus pada kapasitor yang mengalami *discharge*, sehingga menyebabkan *discharge* pada arus yang melalui tabung. Karena hal inilah paparan yang masuk ke pasien akan bertambah seiring dengan kenaikan nilai mAs yang dipilih, paparan

pada image receptor akan bertambah sedikit. Hal ini bisa juga disebabkan karena temperatur filamen mengalami penurunan sehingga tidak cukup untuk melakukan pelepasan elektron.

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa puncak keluaran sinyal arus kerja (mA) tidak bersamaan naiknya dengan puncak dosis radiasi. Hal tersebut terjadi karena ketidak sinkronan antara tegangan kerja (kV) dengan arus kerja (mA) karena adanya potensial yang hilang. Oleh karena itu perlu dilakukan pengaturan kembali pada sirkuit pewaktu paparan.



BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil evaluasi yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode *non-invasive* dapat digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan ketidaksesuaian fungsi generator melalui keluaran sinyal yang dihasilkan.
2. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan, pesawat sinar-x yang lulus uji fungsi, tidak menjamin memiliki fungsi generator yang sesuai dengan standar spesifikasi.
3. Berdasarkan evaluasi keluaran sinyal generator sinar-x kemungkinan *surge step*, *overshoot* dan *contactor bounce* kerap terjadi pada awal paparan, sedangkan drop tegangan maupun *discharge* kerap terjadi pada saat paparan berlangsung.

5.2 Saran

Evaluasi keluaran sinyal generator ini merupakan langkah awal dan perlu tindak lanjut mengenai *troubleshooting* dalam mengatasi kemungkinan terjadinya ketidaksesuaian fungsi generator dengan standar spesifikasi, mengingat metode *invasive* yang tidak mungkin dilakukan.

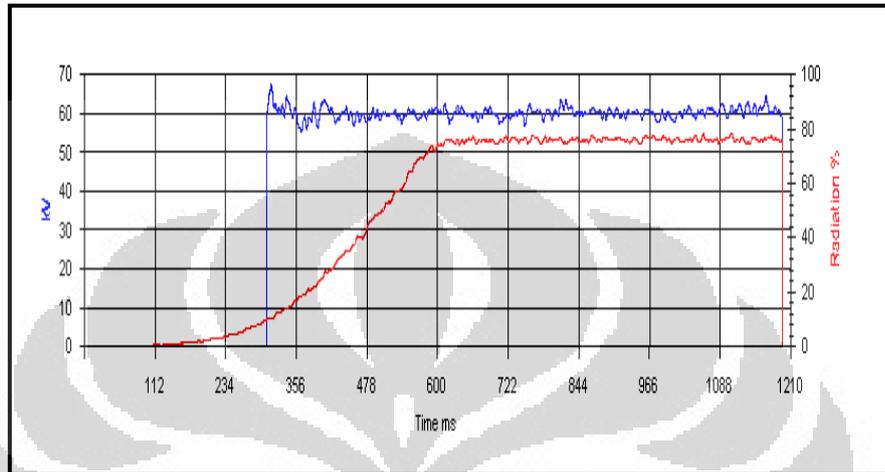
DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Physic Medicine. *AAPM Report No. 14 : Performance Specifications and Acceptance Testing for X-ray Generator and Automatic Exposure Control Devices*. Newyork : American Institute of Physic, 1985.
- Cooper, William D. *Electronic Instrumentation and Measurement Technique*. (Ed. Ke-2). Trans. Ir. Sahat Pakpahan. Jakarta : Erlangga, 1999.
- Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. *Panduan Penyusunan Skripsi Sarjana Sains*. Jakarta : UI Press, 2002.
- Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. *Modul Teknik Dasar Rectifier dan Inverter*. Yogyakarta, 2003.
- Radiological Council of Western Australia. *Diagnostic X-ray Equipment Compliance Testing*. Workbook 3
- Ryder, D John. *Electronic Fundamentals and Applications*. (Ed. Ke-2). Englewood Cliff, USA : Prentice-Hall, 1959.
- Seibert, Anthony J. Imaging & Theurapetic Technology : X-ray Generator.” *The AAPM/RSNA Physic Tutorial for Resident 17 (1997): 1533-1557*.
- Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, Politeknik Kesehatan Depkes Semarang. *Materi Diklat Petugas Proteksi Radiasi Bidang Radiodiagnostik*. Semarang, 2009.

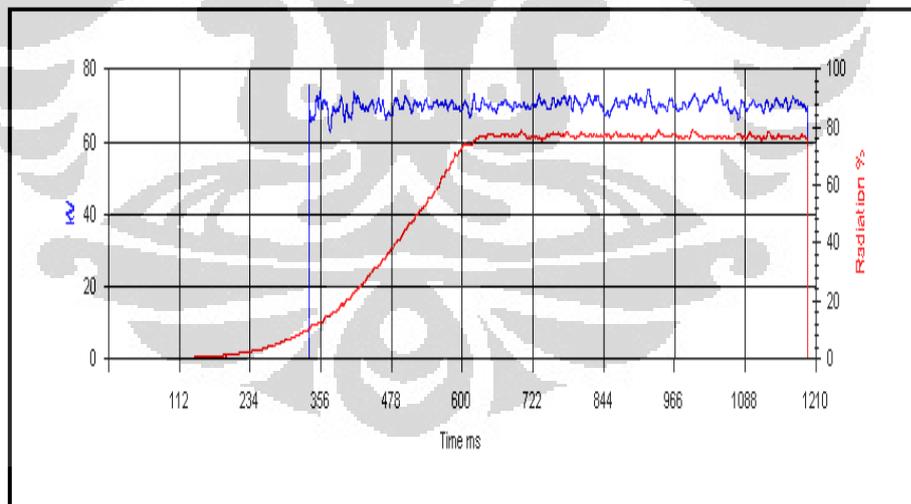
LAMPIRAN

Lampiran 1. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential*

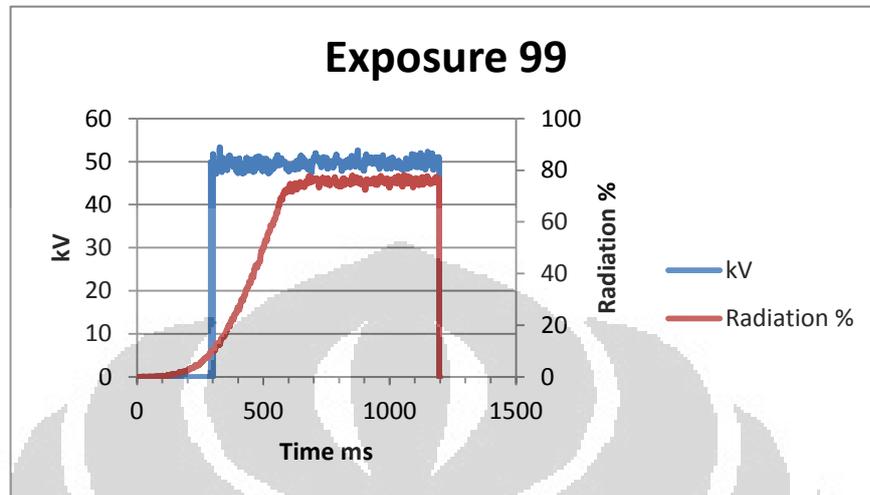
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential* Kondisi Pengukuran 60.35 kV 5 s



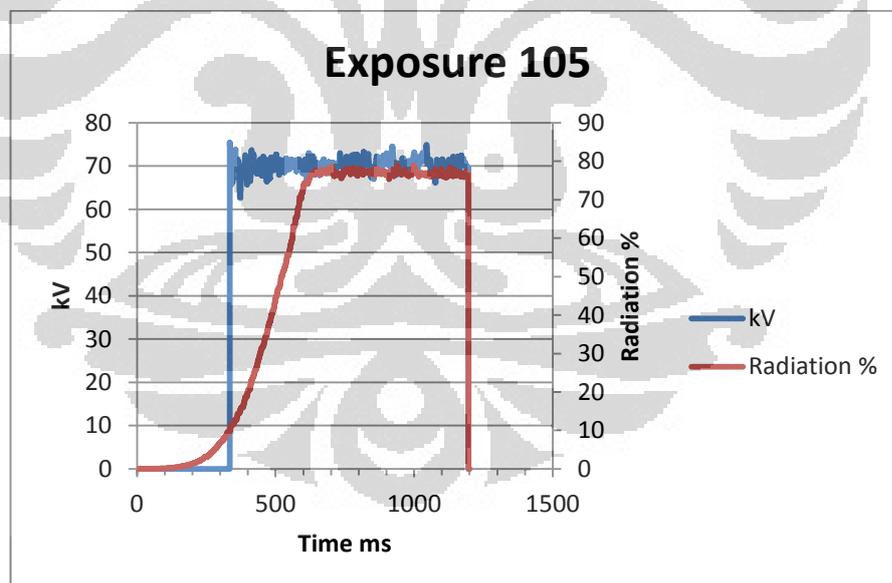
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, *Constant Potential* Kondisi Pengukuran 70.47 kV 5 s



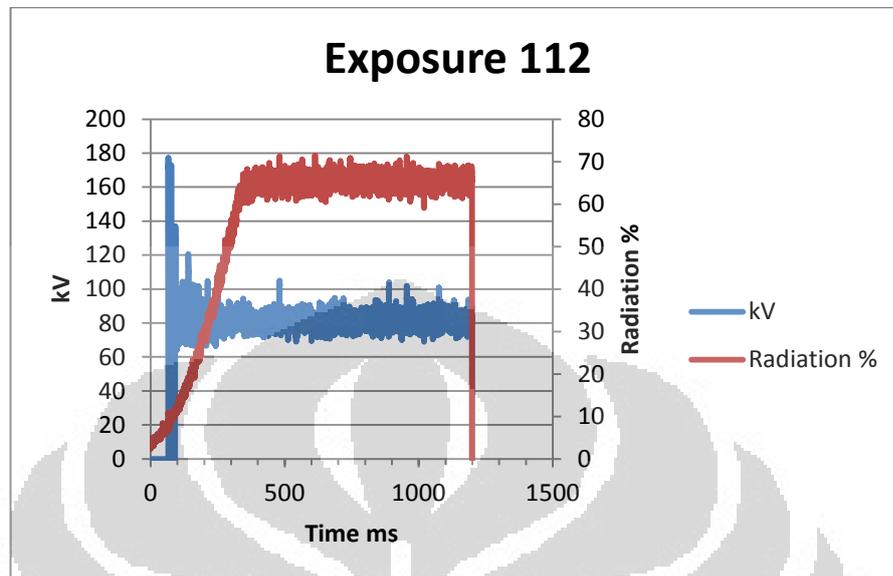
- Keluaran Sinyal Generator Sinar-x Constant Potential Kondisi Pengukuran 81.57 kV 5 s



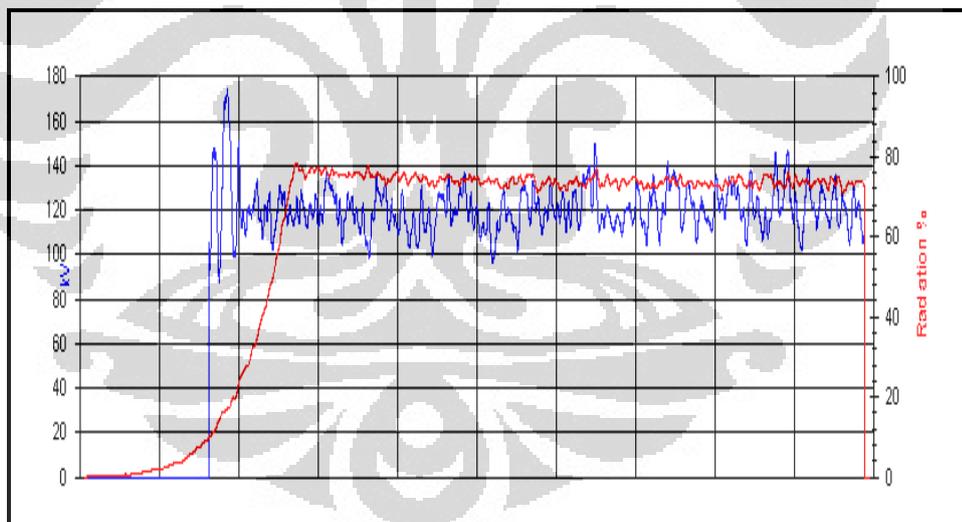
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 91.71 kV, 5 s



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x a, Constant Potential Kondisi Pengukuran 102 kV 5 s

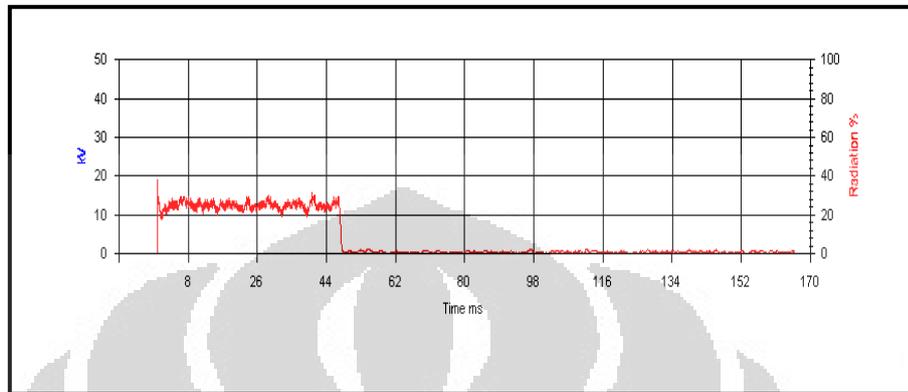


- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 120 kV

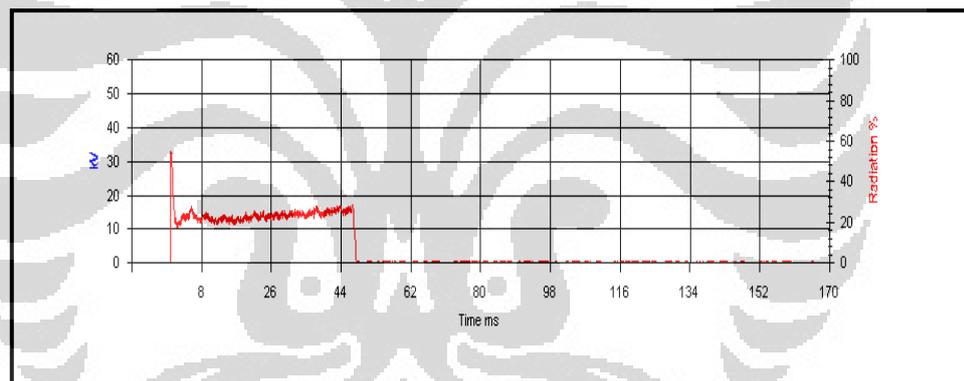


Lampiran 2. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x B, Constant Potential

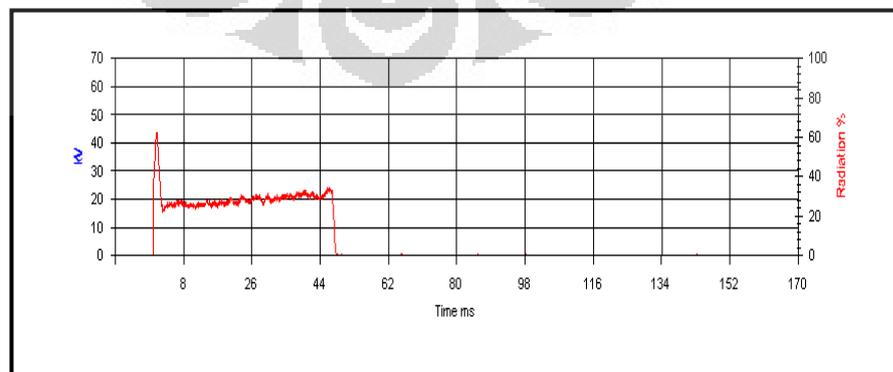
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 40 kV



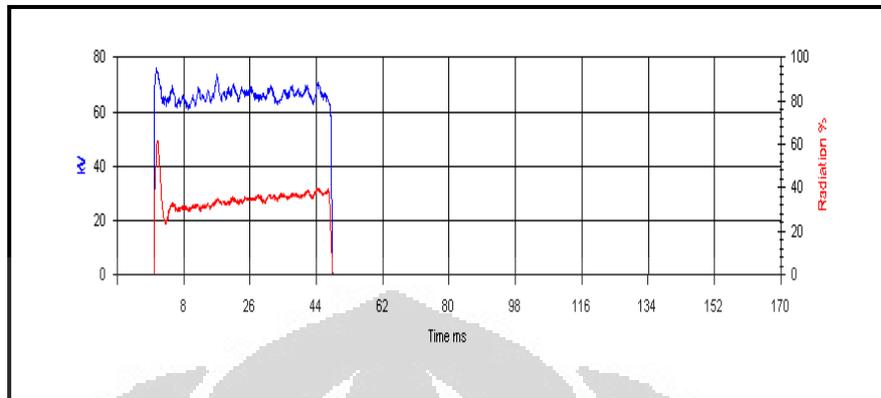
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 45 kV



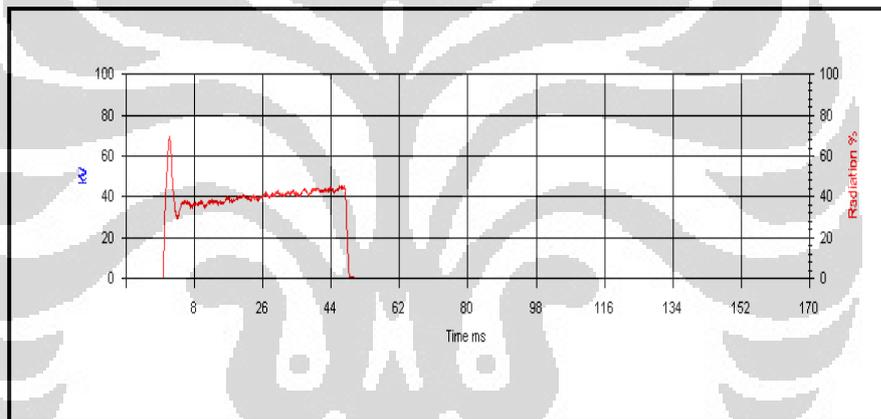
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 55 kV



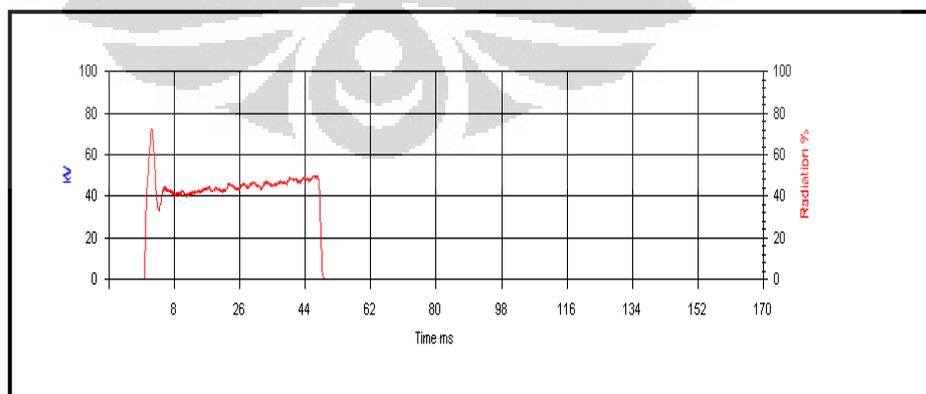
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 65 kV



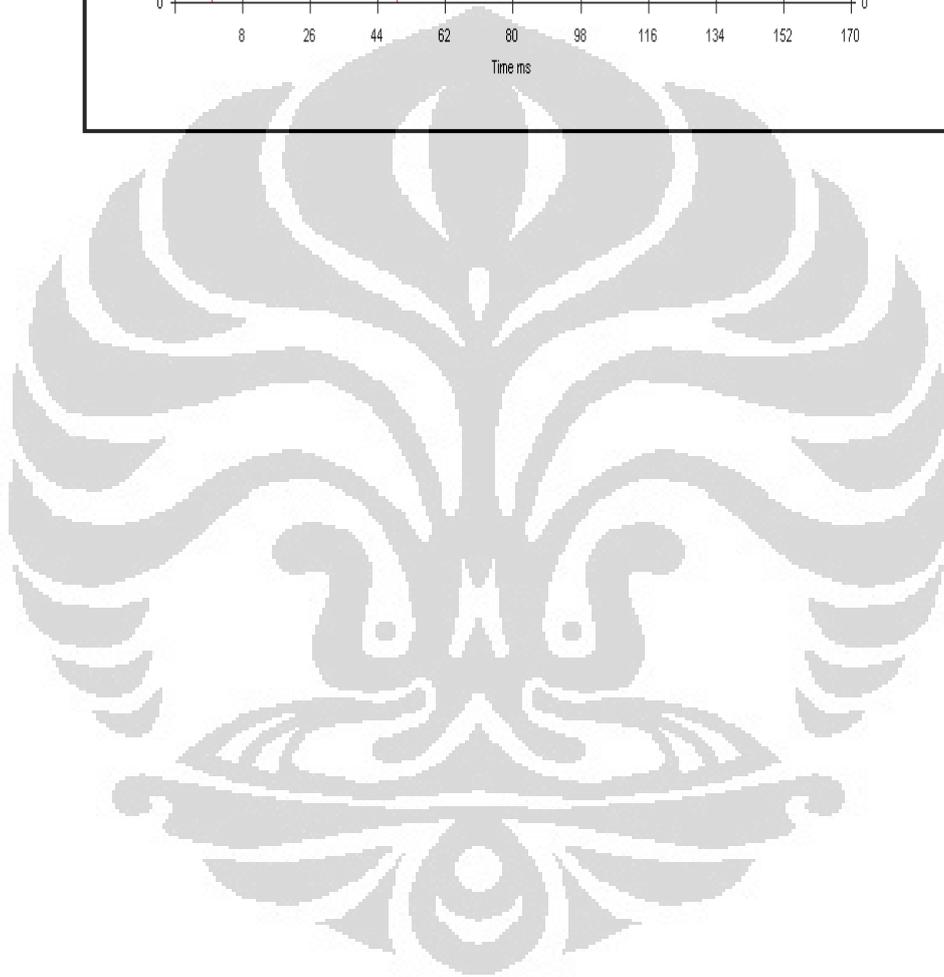
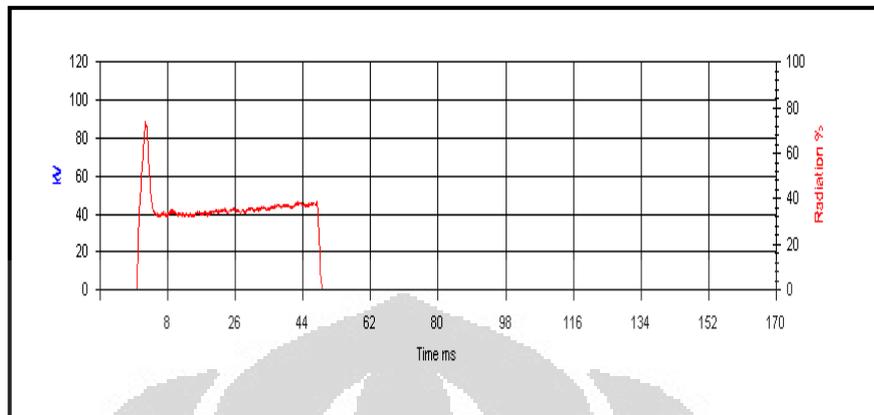
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 75 kV



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 85 kV

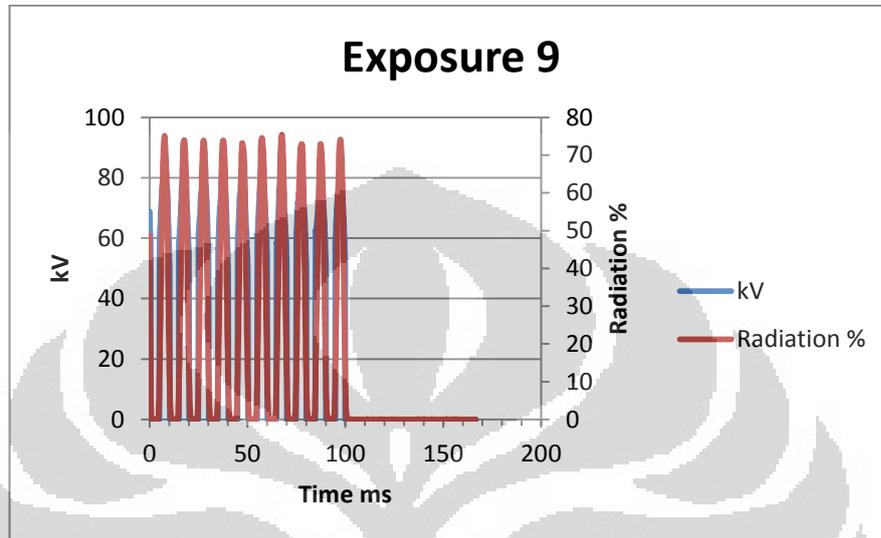


- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x A, Constant Potential Kondisi Pengukuran 100 kV

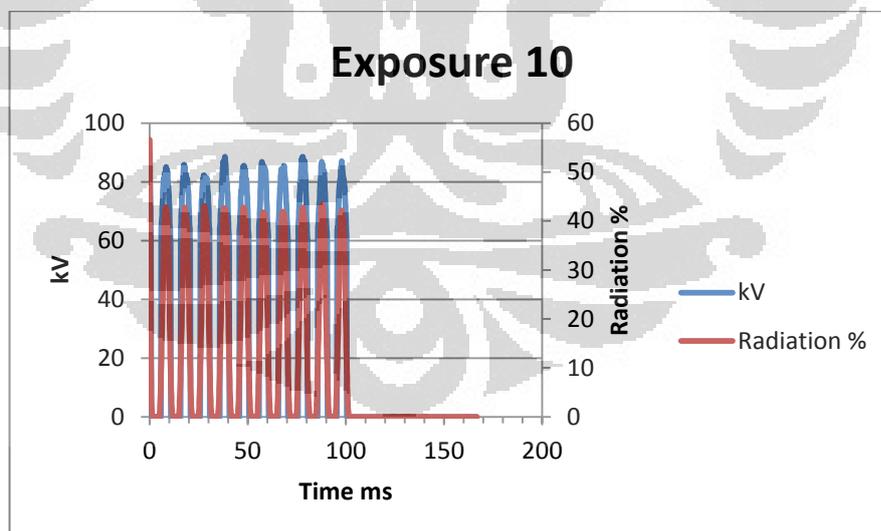


Lampiran 3. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase

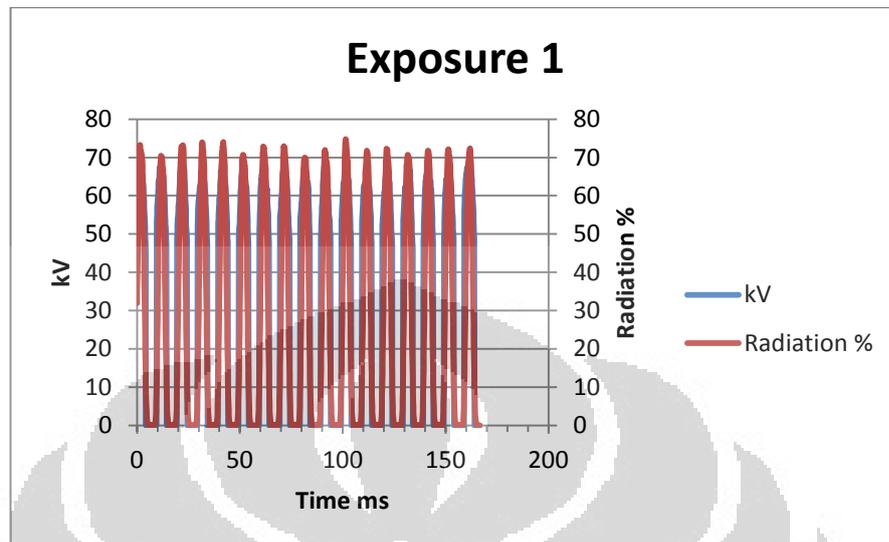
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 80 kV 0.1 s



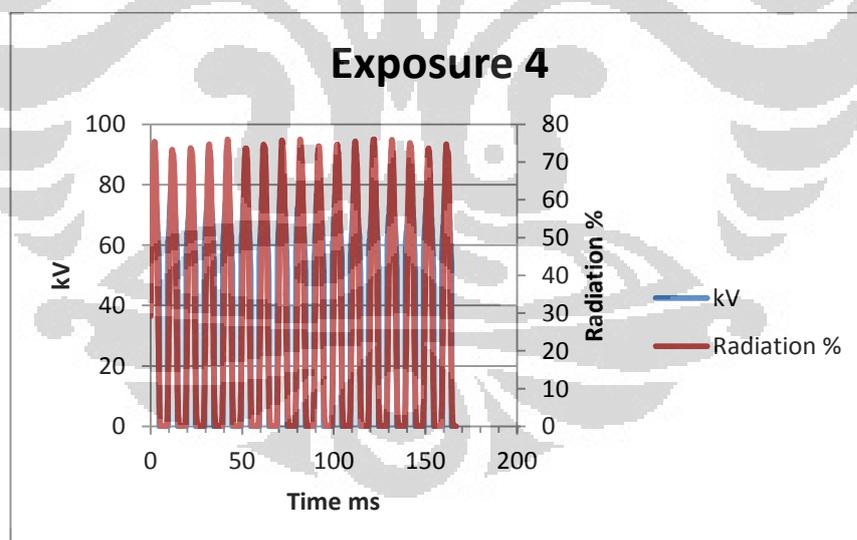
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 90 kV 0.1 s



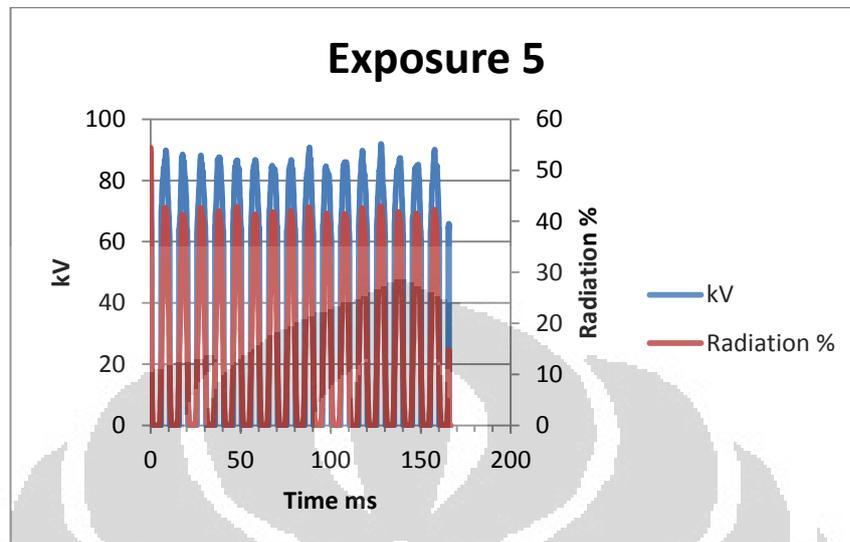
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 60 kV 0.2 s



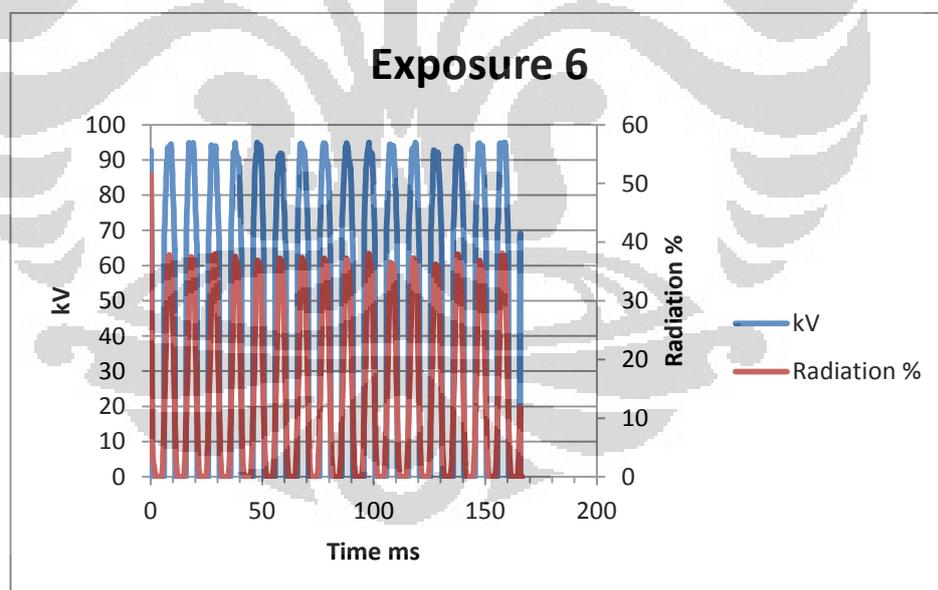
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 80 kV 0.2 s



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 90 kV 0.2 s

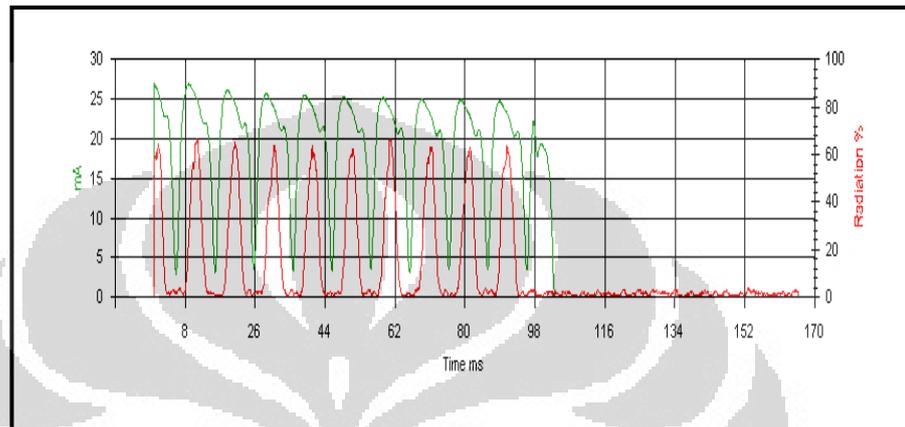


- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x C, Single Phase Kondisi Pengukuran 100 kV 0.2 s

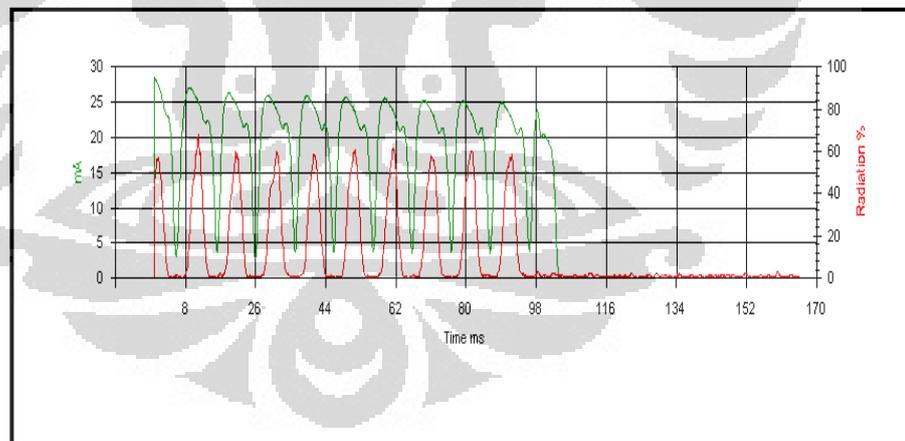


Lampiran 4. Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase
Kondisi 20 mA 0.1 s

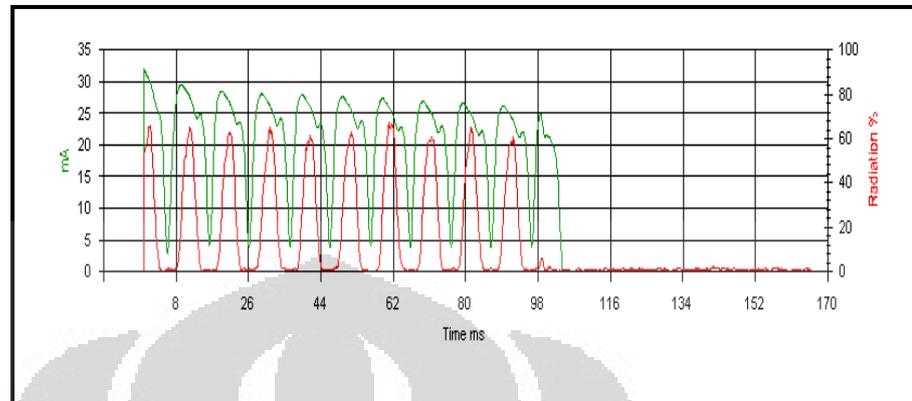
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 55 kV



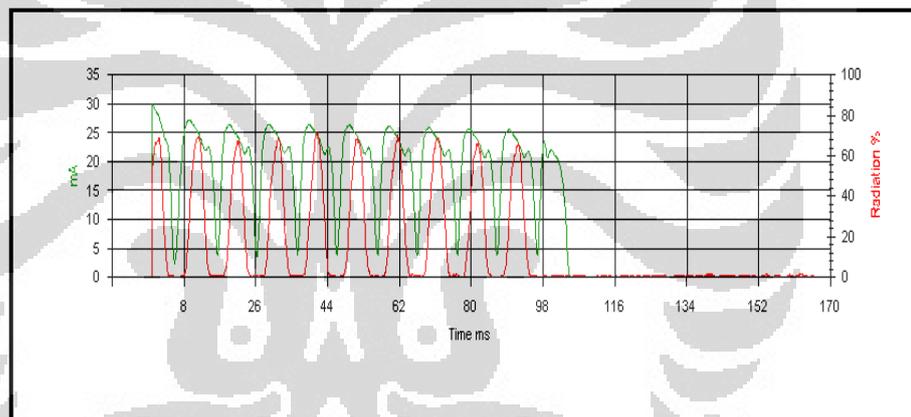
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 60 kV



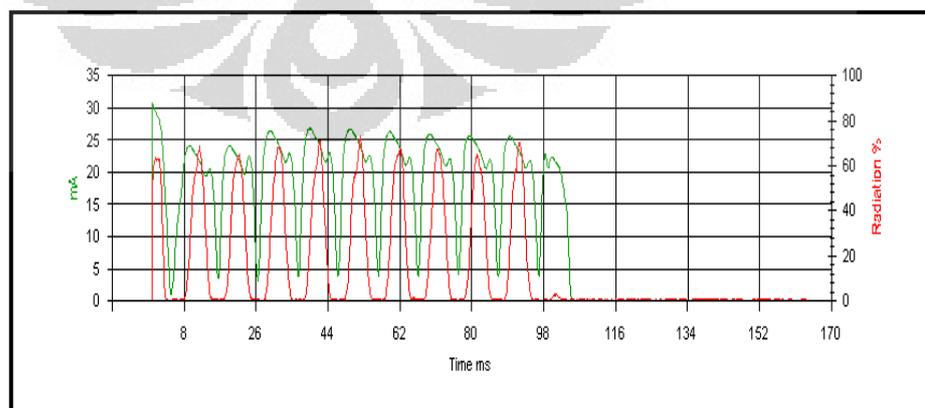
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 65 kV



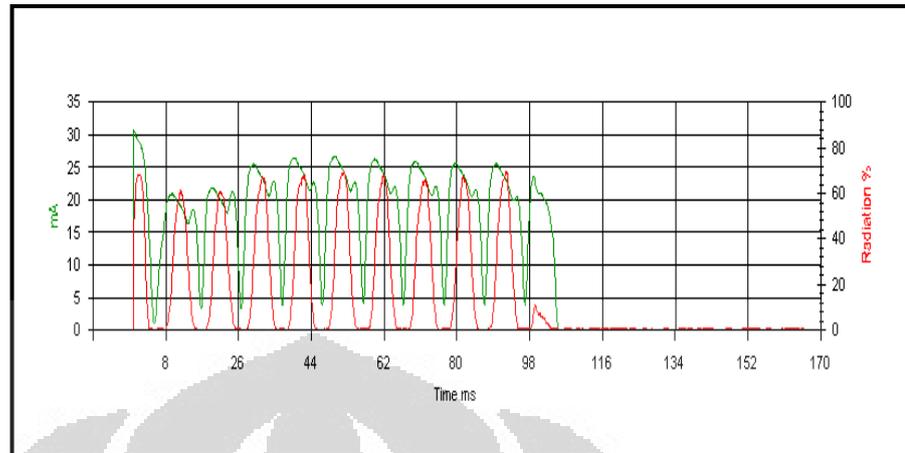
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 70 kV



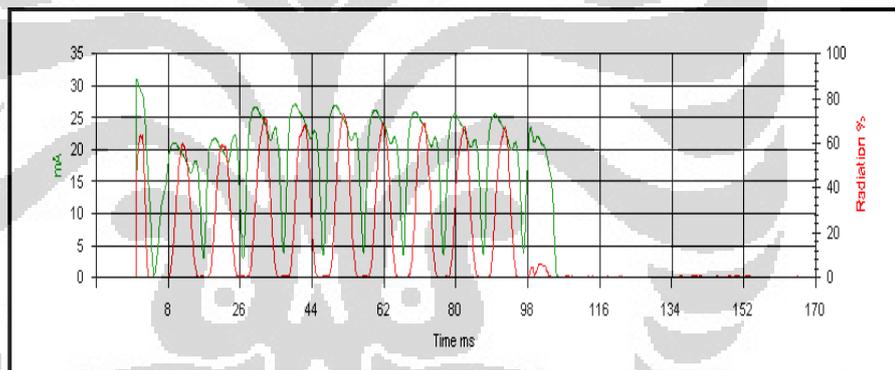
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 75 kV



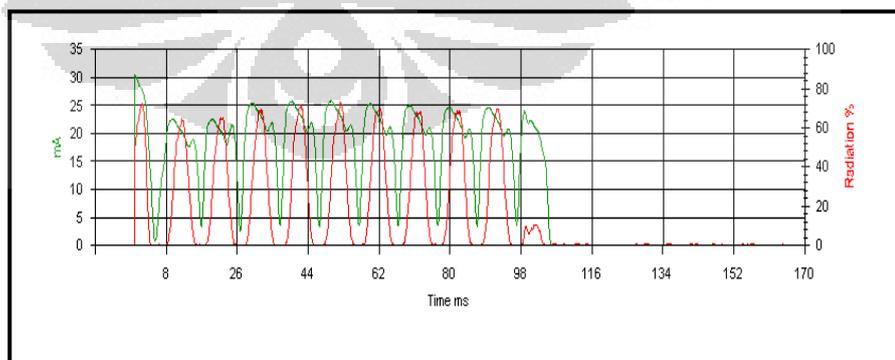
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 80 kV



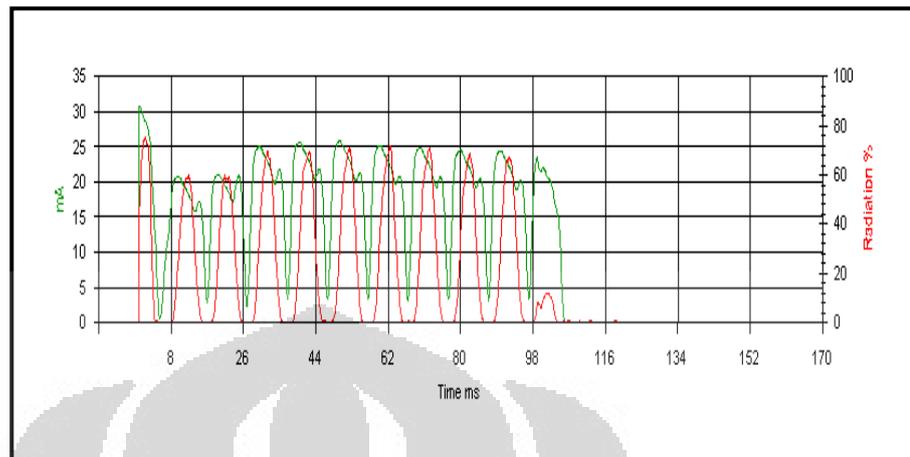
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 85 kV



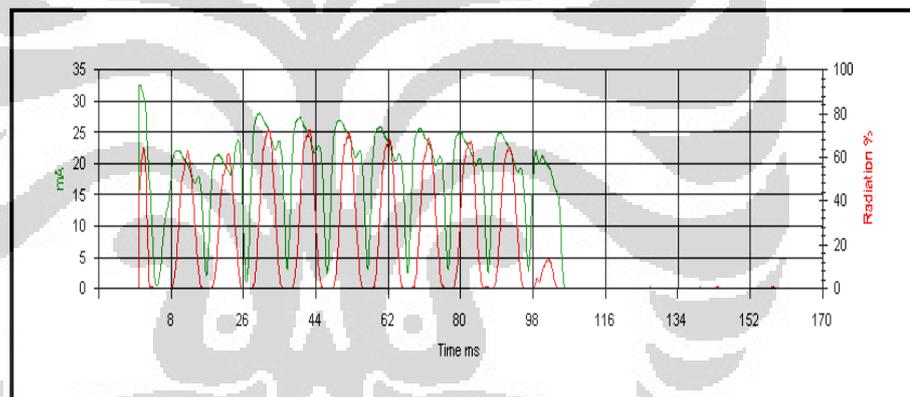
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 90 kV



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 95 kV

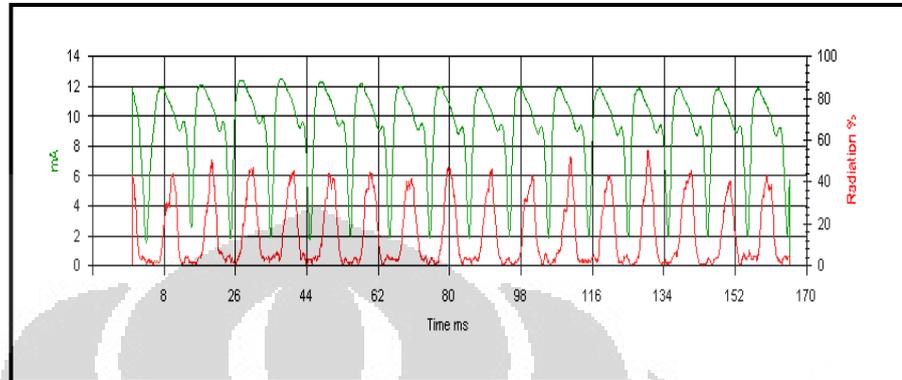


- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 100 kV

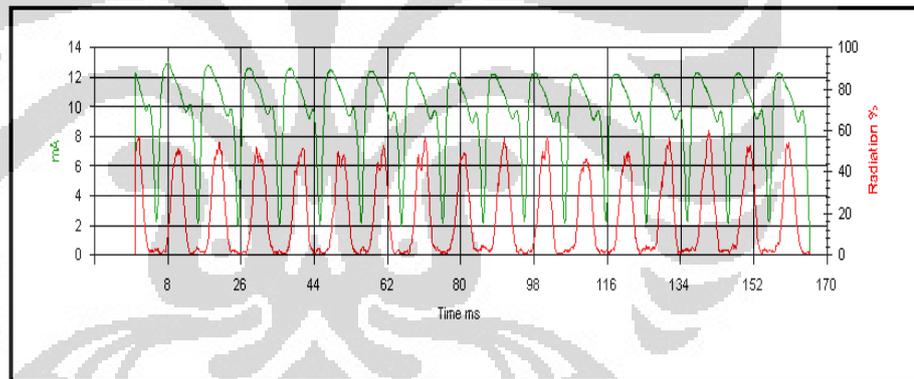


Kondisi 10 mA 0.5 s

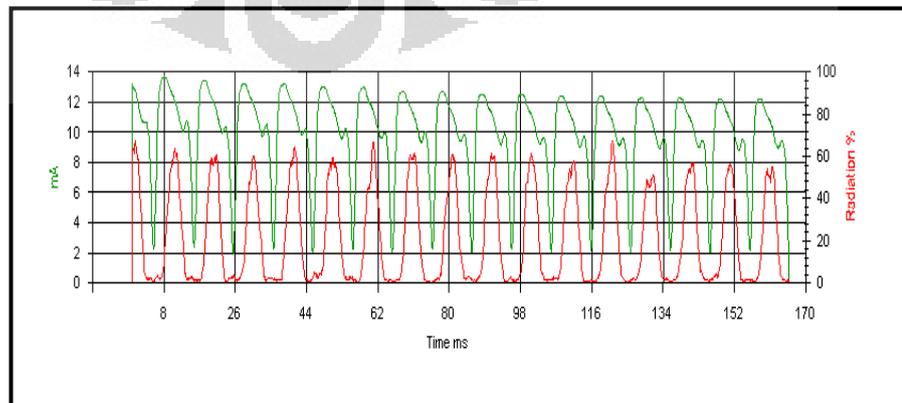
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 55 kV



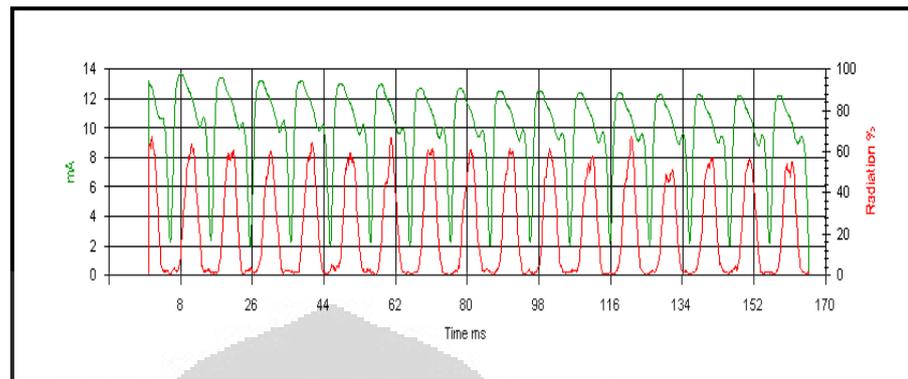
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 60 kV



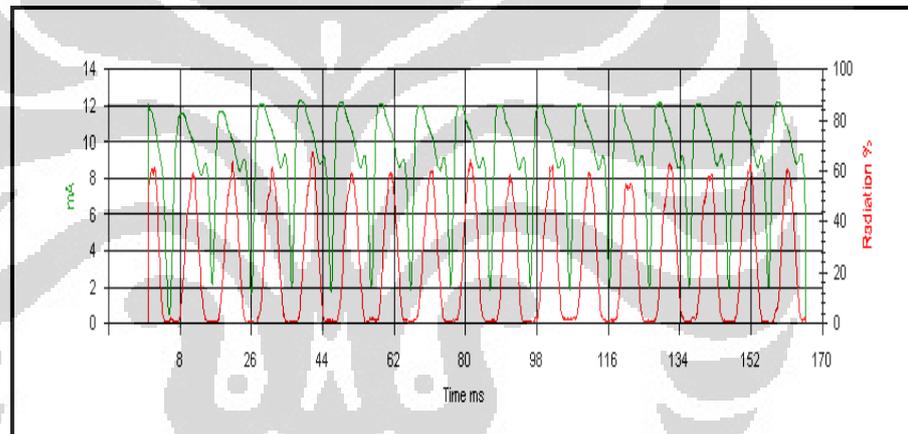
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 65 kV



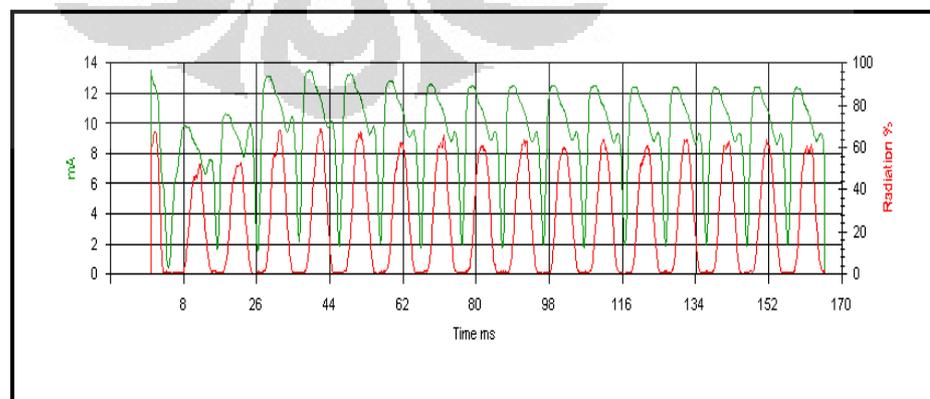
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 70 kV



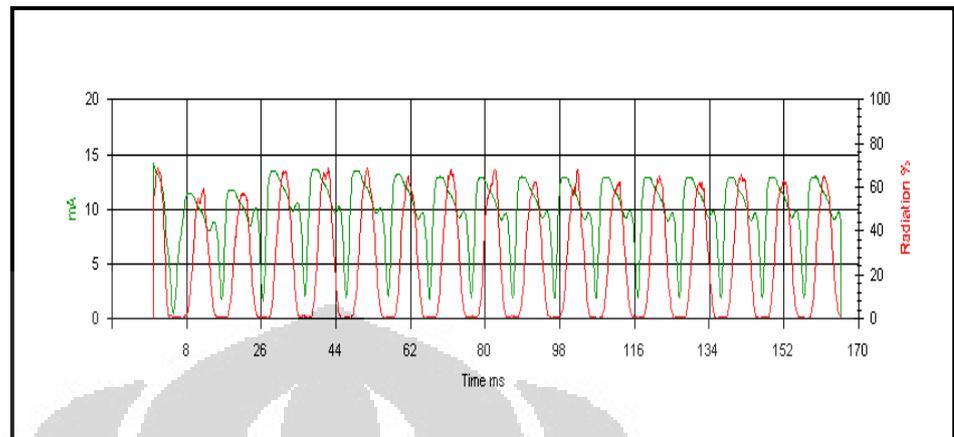
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 75 kV



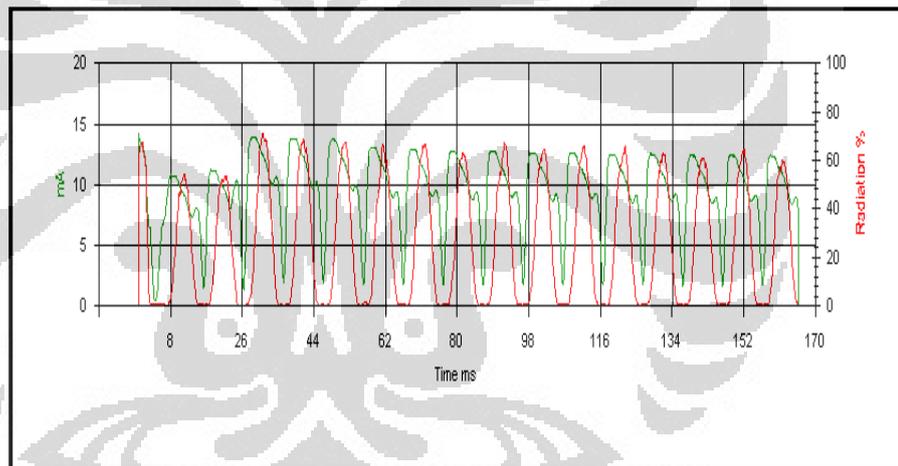
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 80 kV



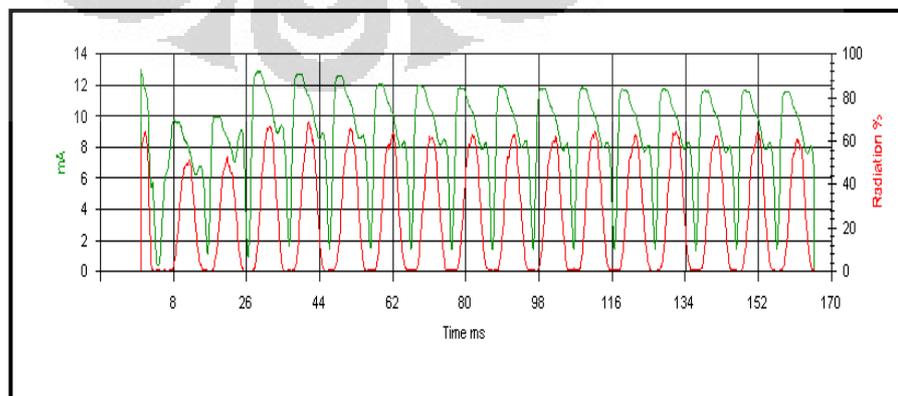
- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 85 kV



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 90 kV



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 95 kV



- Keluaran Sinyal Pesawat Sinar-x D, Single Phase Kondisi Pengukuran 100 kV

