



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KELUARAN ANTARA
PESAWAT SINAR-X TOSHIBA MODEL DRX-1824B DAN TOSHIBA
MODEL DRX-1603B**

SKRIPSI



**AULYA RAHAYU
07135024**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG
2011**

SKRIPSI

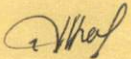
**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KELUARAN ANTARA PESAWAT SINAR-X
TOSHIBA UNIT MODEL DRX-1824B DAN
TOSHIBA UNIT MODEL DRX-1603B**

yang disusun oleh

AULYA RAHAYU
07135024

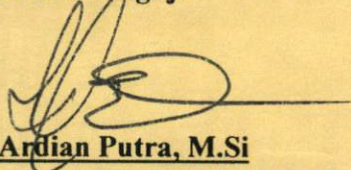
telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal 24 Oktober 2011
dan dinyatakan lulus memenuhi syarat

Pembimbing



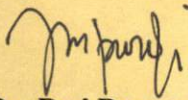
Dian Milvita, M.Si
NIP.197401081999032001

Ketua Penguji



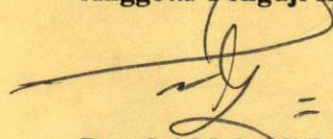
Ardian Putra, M.Si
NIP.198304222005011002

Anggota/ Penguji I



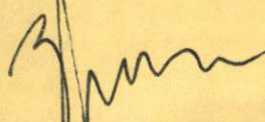
Dr. Dwi Purdyanti
NIP.196904191997022001

Anggota/ Penguji II



Drs. Sri Mulyadi Dt Basa, M.Si.
NIP.195208011986101001

Padang, Oktober 2011
Ketua Jurusan Fisika
FMIPA Universitas Andalas



Arif Budiman, M.Si
NIP.197311141999031004

*Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan
Maka apabila telah selesai dari semua urusan
Kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain
Dan hanya kepada Allah hendaknya kamu berharap
(Q.S Al-Insyira : 3-6)*

PERSEMBAHANKU

*Di bawah lindungan-Mu ya Allah
Ku agungkan firman-Mu, maka lepaskanlah kekakuan lidahku
Sehingga mereka mengerti perkataanku tuk memudahkan segala urusan bagiku
Di dalam sujudku, ruku' ku dan doa pintaku hanya keada-Mu
"Limpahkanlah rahmat dan hidayah-Mu kepada diriku
Dan segenap keluargaku beserta orang-orang yang ku sayangi"*

*Ya Allah
Hari ini aku sujud kepada-Mu
Setitik kebahagiaan telah aku nikmati
Sekeping cita-cita telah ku raih
Namun apa yang kuraih hari ini
Belum mampu membayar setetes keringat orang tua ku
Karena itu ya Allah
Jadikanlah keringat mereka sebagai mutiara yang berkilauan dalam kegelapan
Semoga rahmat dan karunia ini selalu hadir dalam setiap perjalananku*

*Dengan penuh rasa syukur kepada-Mu ya Allah
Kupersembahkan karya ini sebagai bukti terima kasih ku
Teruntuk orang-orang yang ku sayangi
Papa dan Mama
Bg Uul & Mega
Bg Adi dan Amelya
Terima kasih telah mengantar ku untuk meraih semua ini
Dan menjadi inspirasi dalam hidup ku
Kasih sayangmu adalah semangat hidupku*

Special thank's buat NC : Yani, Resti, Iin, Geby, Isil, Adek, Ooz, Adi, Hamdi, Yefri, Rizka (makasih buat dukungannya plend). Buat RELATIVITAS '07 : Keluarga Ceriwiiss (Henny, Aso, Achi, Nela, Nanda, Indy, Dezt, Achan, Izam, dan Ega), Three Diva (Novi, Susi, en Adel), Ima caem, Incim, Oya, Uchi, Eli , Echa 'Kacak', Galoeh, Anhee, Osna, Engrid, Riri, Faisal, Iiq, Yona.

Thank's to my Roommate Yolla Ns (makasih buat dukungan dan canda tawanya), anak kos ungu : kak Vella yg slalu bikin kosan rame, kak Qiqi, Widya & Vivi, Puti, dan Yanti.

Teman- teman sepenelitian yang senasib dan seperjuangan : Yenni, kak Vivi (semangat ya ngerjain TA nya), dan kak Nola. Jangan lupa masaz penelitian kita, makan di Ampera Adang dan Intermilan

Thank's to all uda2 n uniz angkatan '05, '06, adek2 ku angkatan '08, '09, n '010 moga semangat kuliah dan cepat menyelesaikan study nya,,,ok.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ Perbandingan Karakteristik Keluaran Antara Pesawat Sinar-X Toshiba Model DRX-1824B dan Toshiba Model-1603B” . Shalawat serta salam semoga tercurah kepada Rasullullah Muhammad SAW, keluarga, para sahabat dan pengikutnya yang selalu taat hingga akhir zaman.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sains program strata I di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini karena adanya bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Arif Budiman, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas.
2. Ibu Dian Milvita, M.Si selaku pembimbing utama yang telah memberikan waktu, pikiran, saran, arahan, motivasi dan dukungan kepada penulis selama penulisan skripsi.

3. Ibu Nunung Nuraeni, M.Si selaku pembimbing kedua yang telah memberikan waktu, saran, dan arahan dalam pengolahan data hingga penulisan skripsi.
4. Karyawan PTKMR BATAN : Bu Dyah, Bu Yati, Pak Heru, dan Bu Helfi, sebagai pembimbing lapangan yang telah memberikan petunjuk dan bantuan selama proses pengambilan data.
5. Bapak Ardian Putra, M.Si, Ibu Dr. Dwi Puryanti, dan Bapak Sri Mulyadi Dt. Basa, M.Si selaku penguji yang telah memberikan saran dan petunjuk dalam penulisan skripsi.
6. Kedua orang tua dan saudara, atas segala doa, semangat, dorongan, dan kasih sayang sehingga penulisan skripsi ini berjalan dengan lancar.
7. Bapak Iswar selaku Kepala TUUD Rumah Sakit Tentara Dr.Reksodiwiryono Padang, yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian.
8. Kak Lusi, Bang Thomson, dan Pak Agusta selaku radiografer di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Dr. Reksodiwiryono Padang, yang telah membantu penulis selama pengambilan data.
9. Pak Bambang dan Pak Arifin yang telah memberi kemudahan dan mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di RSI Siti Rahmah Padang.
10. Teman-teman di jurusan Fisika Universitas Andalas, khususnya RELATIVITAS 07 terimakasih atas semangatnya selama masa perkuliahan.

Dalam penulisan skripsi ini, penulisan menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap, semoga apa yang terdapat dalam skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua pihak. Amin.

Padang, Oktober 2011

Penulis

**PERBANDINGAN KARAKTERISTIK KELUARAN ANTARA PESAWAT
SINAR-X TOSHIBA UNIT MODEL DRX-1824B DAN
TOSHIBA UNIT MODEL DRX-1603B**

Abstrak

Telah dilakukan penelitian mengenai perbandingan karakteristik keluaran antara pesawat sinar-X Toshiba unit model DRX-1824B dan Toshiba unit model DRX-1603B. Parameter yang diukur adalah: (1) akurasi tegangan tabung (2) akurasi waktu eksposi (3) linieritas keluaran (4) stabilitas tegangan, waktu dan keluaran radiasi (5) kualitas berkas sinar-X (6) uji kebocoran tabung sinar-X. Penelitian ini menggunakan alat-alat: pesawat sinar-X konvensional merek Toshiba unit model DRX-1824B (pesawat I), pesawat sinar-X konvensional merek Toshiba unit model DRX-1603B (pesawat II), dan detektor *xi unfors set*. Hasil penelitian menunjukkan secara umum kedua pesawat sinar-X konvensional telah memenuhi standar yang ditetapkan dan masih layak untuk digunakan. Perbandingan karakteristik kedua pesawat menunjukkan keluaran radiasi dan laju dosis radiasi pesawat II lebih besar dari pesawat I.

Kata kunci : radiodiagnostik, pesawat sinar-X konvensional, sinar-X, keluaran radiasi

**THE COMPARISON OF OUTPUT CHARACTERISTICS BETWEEN X-RAY
MACHINE TOSHIBA MODEL DRX-1824B AND
TOSHIBA MODEL DRX-1603B**

Abstract

The research on comparison of output characteristic between X-ray machine Toshiba model DRX-1824B and Toshiba model DRX-1603B, have been completed. Parameters measured were : (1) tube voltage accuracy (2) accuracy of exposure timing (3) linearity of the output (4) the stability of the voltage, time and the output radiation (5) X-ray beam quality (6) tube housing of X-ray leakage. The research was used : conventional X-ray machine Toshiba model DRX-1824B (machine I), conventional X-ray machine Toshiba model DRX-1603B (machine II), and Xi unfors sets detector. The results showed in general the two machines of conventional X-rays have met the standards established and are still good to use. The comparison of the two machines shows the output characteristics of radiation and dose rate radiation of machine I is larger than the machine I.

Key words: radiodiagnostic, conventional X-rays machine, X-rays, radiation output

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Manfaat Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Landasan Teori	5
2.2.1 Sinar-X	6
2.2.2 Pesawat Sinar-X	10
2.2.3 Dosimetri radiasi	11
2.2.4 Karakteristik Pesawat Sinar-X	13

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian..... 19

3.2 Peralatan Penelitian 19

3.3 Tata Laksana Penelitian 23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Keluaran Tabung Pesawat Sinar-X 30

4.2 Perbandingan Karakteristik Pesawat Sinar-X 46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan..... 53

5.2 Saran 54

DAFTAR KEPUSTAKAAN..... 55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Proses Terbentuknya Sinar-X	8
Gambar 2.2 Spektrum Energi Sinar-X	9
Gambar 3.1 Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Unit Mode DRX-1824B	20
Gambar 3.2 Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Unit Mode DRX-1603B	21
Gambar 3.3 8202060-A Xi <i>Survey Detector</i> S/N : 150034.....	22
Gambar 3.4 8201011-B Xi <i>Base Unit Platinum</i> S/N : 155175.....	22
Gambar 3.5 8202031-C Xi R/F & MAM <i>Detector Platinum</i> S/N : 151685.....	22
Gambar 3.6 Diagram Alir Uji Akurasi Tegangan	23
Gambar 3.7 Skema Uji Akurasi Tegangan.....	24
Gambar 3.8 Diagram Alir Uji Akurasi Waktu Eksposi	25
Gambar 3.9 Skema Uji Akurasi Waktu Eksposi	25
Gambar 3.10 Diagram Alir Uji Linieritas Keluaran	26
Gambar 3.11 Skema Uji Linieritas Keluaran	26
Gambar 3.12 Diagram Alir uji Stabilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi dan Keluaran Radiasi	27
Gambar 3.13 Skema Uji Stabilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi	

dan Keluaran Radiasi	27
Gambar 3.14 Diagram Alir Kualitas Berkas sinar-X	28
Gambar 3.15 Skema Kualitas Berkas sinar-X	28
Gambar 3.16 Diagram Alir Uji Kebocoran Tabung Sinar-X	29
Gambar 3.17 Skema Uji Kebocoran Tabung sinar-X	29
Gambar 4.1 Grafik Deviasi (%) Pesawat I dan Pesawat II pada Uji Akurasi Tegangan	32
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Tegangan Panel (kV) terhadap Tegangan terukur (kV).....	33
Gambar 4.3 Grafik Deviasi (%) Pesawat I dan Pesawat II pada Uji Akurasi Waktu Eksposi.....	36
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu Panel (s) terhadap Waktu terukur (s)	37
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Arus .waktu (mAs) terhadap Dosis (mGy).....	40
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Tegangan (kV) terhadap HVL (mmAl).....	40
Gambar 4.7 Keluaran Tabung sinar-X pada Tegangan yang Berbeda.....	47
Gambar 4.8 Laju Dosis Radiasi pada Tegangan yang Berbeda	49
Gambar 4.9 Hubungan Tegangan terhadap Waktu pada Generator Satu Phasa.....	51

Gambar 4.10 Hubungan Tegangan terhadap Waktu pada

Generator Multi Phasa.....52

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Syarat Minimum Tebal HVL	17
Tabel 4.1 Akurasi Tegangan Pesawat I	30
Tabel 4.2 Akurasi Tegangan Pesawat II	31
Tabel 4.3 Akurasi Waktu Eksposi Pesawat I	34
Tabel 4.4 Akurasi Waktu Eksposi Pesawat II	35
Tabel 4.5 Linieritas Keluaran Pesawat I	38
Tabel 4.6 Linieritas Keluaran Pesawat II	39
Tabel 4.7 Stabilitas Tegangan, Waktu dan Keluaran Radiasi Pesawat I.....	41
Tabel 4.8 Stabilitas Tegangan, Waktu dan Keluaran Radiasi Pesawat II	42
Tabel 4.9 Kualitas Berkas Sinar-X Pesawat I dan Pesawat II.....	43
Tabel 4.10 Kebocoran Tabung Sinar-X Pesawat I.....	44
Tabel 4.11 Kebocoran Tabung Sinar-X Pesawat II.....	45
Tabel 4.12 Keluaran Radiasi pada Pesawat I	46
Tabel 4.13 Keluaran Radiasi pada Pesawat II.....	46
Tabel 4.14 Laju Dosis radiasi Pesawat I	48
Tabel 4.15 Laju Dosis Radiasi Pesawat II.....	48
Tabel 5.1 Hasil Pengukuran Karakteristik Pesawat Sinar-x Konvensional	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aplikasi teknik nuklir dalam bidang kesehatan telah memberikan sumbangan yang sangat berharga dalam bidang diagnosis maupun terapi beberapa jenis penyakit. Perkembangan keilmuan khususnya di bidang kedokteran yang memanfaatkan radiasi pada saat ini dibagi atas tiga bagian besar yaitu radiodiagnostik, radioterapi, dan kedokteran nuklir.

Pemanfaatan sinar-X dalam radiodiagnostik di dunia kedokteran sangat menunjang dalam penegakkan diagnosis. Secara tidak langsung hal ini akan memberikan kontribusi radiasi yang berasal dari sumber radiasi buatan terhadap pasien. Kontribusi radiasi buatan akan menimbulkan efek biologis yang secara langsung atau tidak langsung akan diderita oleh pasien. Oleh karena itu, pemanfaatan sinar-X sebagai radiodiagnostik di bidang kesehatan telah diatur oleh pemerintah dalam Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Surat Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 01/Ka-BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja dengan Radiasi.

Paparan radiasi yang diterima pasien berhubungan dengan keluaran sinar-X dari tabung pesawat, sehingga perlu dilakukan pengujian keluaran terhadap tabung sinar-X. Pada penelitian ini akan dibandingkan dua buah pesawat sinar-X dengan merek

yang sama namun mempunyai tipe yang berbeda. Perlunya dilakukan uji banding terhadap kedua pesawat agar diketahui karakteristik dan kemampuan atau performa kedua pesawat sinar-X dalam pembentukan citra dan dosis radiasi yang diterima pasien.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menentukan dan membandingkan karakteristik tabung pesawat sinar-X Toshiba model DRX-1824B dan pesawat sinar-X Toshiba model DRX-1603B.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Rumah sakit sebagai pemilik fasilitas radiodiagnostik dapat mengoptimalkan fungsi pesawat sinar-X sesuai dengan karakteristik yang dimiliki pesawat.
2. Pesawat sinar-X dapat menghasilkan kualitas citra yang baik serta menghindari terjadinya pengulangan foto rontgen sehingga dosis radiasi yang diterima pasien lebih sedikit.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian mengenai karakteristik pesawat sinar-X dilakukan terhadap dua buah pesawat sinar-X. Penelitian ini dibatasi pada enam parameter uji dan dilaksanakan tanpa menggunakan pasien. Alat yang digunakan pada penelitian ini

adalah detektor *Xi Unfors* set. Pengulangan pengambilan data untuk masing-masing parameter uji disesuaikan dengan beban kerja alat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang karakteristik pesawat sinar-X pernah dilakukan oleh Wardeni (2005) dengan judul *Karakterisasi Berkas Sinar Pesawat Radiodiagnostik Konvensional Fototoraks dan Modifikasi Berkas Untuk Optimasi Paparan Pesawat di RS DR. M. Djamil Padang*. Parameter uji yang dilakukan meliputi pengukuran (1) tegangan keluaran pesawat radiodiagnostik, (2) konsentrasi foton, (3) paparan pesawat, (4) kerma, dan (5) kualitas citra . Pengukuran ini menggunakan KVp meter, dosimeter RADCheck dan densitometer. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai tegangan keluaran pesawat tidak sesuai dengan nilai tegangan yang diset pada panel dengan penyimpangan (beda kVp) rata-rata bernilai 7,77 kV.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Sismar (2006) yang berjudul *Karakterisasi Berkas Sinar Pesawat Radiodiagnostik Konvensional dan Modifikasi Berkas Untuk Optimasi Paparan Pesawat Pada Beberapa Rumah Sakit di Sumatra Barat*, dengan parameter uji meliputi pengukuran (1) tegangan keluaran pesawat radiodiagnostik, (2) akurasi waktu penyinaran pesawat radiodiagnostik, (3) linieritas keluaran paparan radiasi terhadap waktu, tegangan dan arus, (4) pengukuran kualitas paparan radiasi pesawat radiodiagnostik, (5) kesesuaian dan kelurusan berkas pesawat radiodiagnostik, (6) fokus efektif tabung sinar-X pesawat radiodiagnostik. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan KVp meter, *timer digital*, dosimeter

RADChk, *Focal Spot Test*, *Collimator Test* dan *Beam Alignment Test*. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa terjadi ketidaksesuaian antara tegangan KV panel dengan KV terukur tetapi masih berada dalam batas toleransi.

Selanjutnya penelitian dilakukan oleh Susanti (2007) pada empat model pesawat dari empat rumah sakit di Kota Padang dengan judul *Implementasi Compliance Test Pada Beberapa Model Pesawat Radiodiagnostik Sinar-X Di Kota Padang*. Pengukuran bertujuan mengetahui dan menentukan karakteristik berkas radiasi menggunakan objek *Step Wedge* dan filter. Parameter uji yang dilakukan (1) reproduibilitas tegangan, waktu dan paparan radiasi, (2) akurasi tegangan dan akurasi waktu penyinaran pesawat sinar-X, (3) linieritas keluaran radiasi pada berbagai kondisi arus pesawat sinar-X, (4) pengukuran kualitas berkas radiasi pesawat sinar-X, (5) kebocoran tabung sinar-X, (6) kesesuaian dan ketegaklurusan berkas radiasi pesawat sinar-X. Hasil yang diperoleh oleh peneliti menunjukkan bahwa parameter-parameter pengukuran pada keempat pesawat radiodiagnostik sinar-X tersebut memenuhi standar kelayakan fungsi minimum alat sehingga masih layak untuk dioperasikan.

Selanjutnya penelitian dilakukan oleh Dasril (2010) dengan judul *Compliance Test Pesawat Sinar-X Konvensional Merek Toshiba Radiografi Mode DRX-1603B di Rumah Sakit Islam (RSI) Siti Rahmah Padang*. Parameter uji yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu (1) akurasi tegangan, (2) akurasi waktu, (3) linieritas tegangan, (4) reproduibilitas tegangan, waktu dan keluaran, (5) kualitas berkas, (6) kebocoran tabung. Penelitian dilakukan menggunakan alat-alat yang berbeda yaitu *Xi Unfors* set.

Hasil penelitian menunjukkan pesawat sinar-X konvensional yang digunakan pada penelitian secara umum masih berada dalam kondisi yang baik berdasarkan hasil semua parameter uji, keluaran tabung berada di bawah batas toleransi yang diperbolehkan, namun pada pengukuran akurasi tegangan dan kebocoran tabung melebihi nilai batas toleransi.

Selanjutnya dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pesawat sinar-X konvensional merek Toshiba unit model DRX-1824B dan Toshiba unit model DRX-1603B. Pengukuran yang dilakukan meliputi : (1) akurasi tegangan tabung, (2) akurasi waktu eksposi, (3) linieritas keluaran, (4) stabilitas tegangan tabung, waktu eksposi dan keluaran radiasi, (5) kualitas berkas sinar-X , (6) kebocoran tabung sinar-X. Penelitian ini menggunakan alat *Xi Unfors* set dan dilakukan di Rumah Sakit Dr. Reksodiwiryo Padang dan RSI Siti Rahmah Padang.

2.2 Landasan Teori

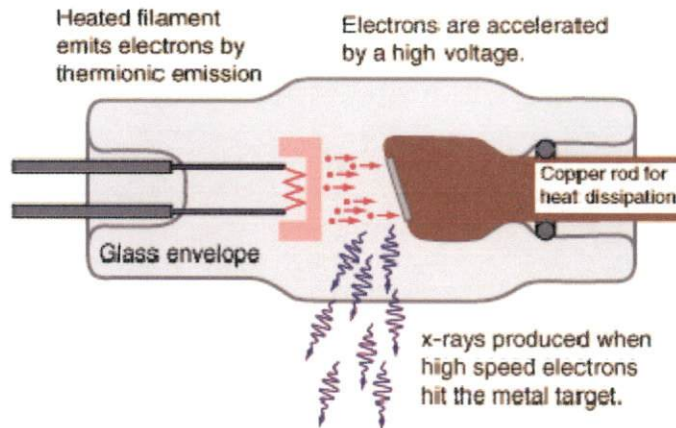
2.2.1. Sinar-X

1. Proses Terjadinya Sinar-X

Sinar-X ditemukan pertama kali oleh fisikawan berkebangsaan Jerman *Wilhelm C. Roentgen* pada tanggal 8 November 1895. Pada saat Roentgen menyalakan sumber listrik tabung untuk penelitian sinar katoda dan mendapatkan bahwa sejenis cahaya berpendar pada layar yang terbuat dari *barium platino cyanida* yang kebetulan berada di dekatnya. Jika sumber listrik dipadamkan, maka cahaya pendar hilang. Roentgen segera menyadari bahwa sejenis sinar yang tidak kelihatan telah muncul

dari dalam tabung sinar katoda. Karena sebelumnya tidak pernah dikenal, maka sinar ini diberi nama sinar-X. Namun untuk menghargai jasa beliau dalam penemuan sinar-X ini maka seringkali sinar itu dinamai juga sinar rontgen.

Sinar-X adalah radiasi elektromagnet dengan rentang panjang gelombang kurang lebih dari 0,01 hingga 10 nm atau energinya kurang lebih dari 100 eV hingga 100 keV (Krane, 1992). Sinar-X dapat diproduksi dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung vakum sinar katoda. Elektron sebagai proyektil dihasilkan dari pemanasan filamen yang berfungsi sebagai katoda. Elektron dari filamen dipercepat gerakannya menggunakan tegangan listrik berorde 10^2 volt hingga 10^6 volt. Elektron yang bergerak sangat cepat itu akhirnya ditumbukkan ke target logam bernomor atom tinggi dan suhu lelehnya juga tinggi. Target logam ini sekaligus juga berfungsi sebagai anoda. Ketika elektron berenergi tinggi itu menabrak target logam, maka sinar-X akan terpancar dari permukaan logam. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini disebut sinar-X bremsstrahlung. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi maksimal sama dengan energi kinetik elektron pada saat terjadinya perlambatan. Proses terbentuknya sinar-X seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1

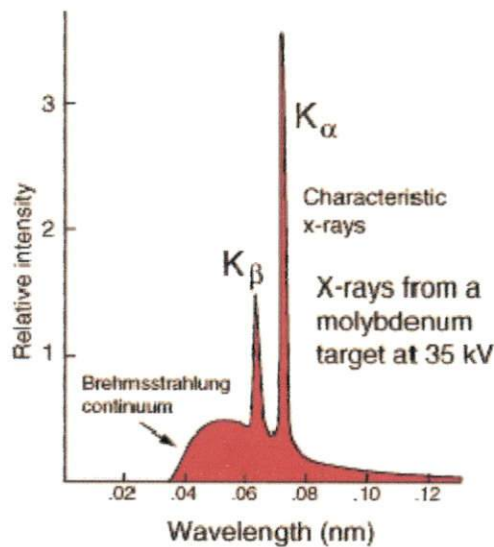


Gambar 2.1 Proses Terbentuknya sinar-X
 (Sumber: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xtube.html>)

Pada saat berkas elektron menabrak target, sebagian besar energi elektron tersebut hilang dalam bentuk panas, sebagian energi lainnya hilang untuk memproduksi sinar-X, namun ada pula kemungkinannya semua energi kinetik elektron tersebut diubah menjadi foton sinar-X.

Sinar-X ini didapatkan menjalar menurut garis lurus walaupun melalui medan listrik dan magnetik dapat menembus bahan dengan mudah, menyebabkan bahan fosforesen berkilau dan menyebabkan perubahan pelat fotografik. Bertambah cepat elektron semula dapat meningkatkan kemampuan tembus sinar-X, dan bertambah banyak jumlah elektron, bertambah besar pula intensitas berkas sinar-X (Beiser, 1987).

Sinar-X dapat pula terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda, maka sinar-X yang terbentuk dari proses ini disebut sinar-X karakteristik. Sinar-X bremsstrahlung mempunyai spektrum energi kontinu sementara spektrum energi dari sinar-X karakteristik adalah diskrit, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 (Akhadi, 2000).



Gambar 2.2 Spektrum Energi Sinar-X

(Sumber : <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xrayc.html>)

2. Sifat-sifat Sinar-X

Sinar-X mempunyai beberapa sifat yaitu :

- a. Tidak dapat dilihat oleh mata, bergerak dalam lintasan lurus, dan dapat mempengaruhi film fotografi sama seperti cahaya tampak.
- b. Daya tembusnya lebih tinggi dari pada cahaya tampak, dan dapat menembus tubuh manusia, kayu, dan beberapa lapis logam tebal.
- c. Dapat digunakan untuk membuat gambar bayangan sebuah objek pada film fotografi (radiograf).
- d. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan energi $E = hv$.
- e. Orde panjang gelombang sinar-X adalah $(0,5-2,5) \text{ \AA}$, sedangkan orde panjang gelombang untuk cahaya tampak adalah 6000 \AA . Jadi letak sinar-X dalam diagram spektrum gelombang elektromagnetik adalah antara sinar ultra violet dan sinar gamma.

2.2.2 Pesawat Sinar-X

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang menghasilkan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi (sinar-X) yang digunakan dalam diagnostik atau terapi.

Sebuah sumber tegangan tinggi dari 20 kV hingga 200 kV diperlukan untuk menghasilkan sinar-X pada tabung sinar-X. Penentuan waktu tegangan tinggi yang dipakai pada tabung harus dibatasi dengan hati-hati supaya pasien tidak menerima dosis yang berlebihan, film tidak menjadi terlalu hitam, dan tabung sinar-X tidak

terlalu panas. Sebagian besar anoda tabung sinar-X diputar oleh motor induksi untuk membatasi daya sinar-X.

Sumber tegangan tinggi dihasilkan oleh sebuah trafo tegangan tinggi ke tingkat 20 kV hingga 200 kV. Tegangan tinggi kemudian dihubungkan ke tabung sinar-X yang akan melewatkan arus konvensional hanya dalam satu arah dari anoda ke katoda. Produksi sinar-X oleh anoda merupakan radiasi bremsstrahlung yang terdiri dari sebaran frekuensi. Sinar-X dengan frekuensi rendah tidak memiliki kontribusi yang berarti dalam data diagnostik tetapi akan meningkatkan dosis yang diterima pasien. Untuk mereduksi sinar-X frekuensi rendah digunakan filter aluminium sedangkan kolimator digunakan untuk membatasi luas paparan radiasi sinar-X.

2.2.3 Dosimetri Radiasi

Dosimetri merupakan kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukurannya didasarkan pada pengukuran ionisasi yang disebabkan oleh radiasi dalam gas, terutama udara. Dalam proteksi radiasi metode pengukuran dosis radiasi ini dikenal dengan sebutan dosimetri radiasi. Selama perkembangannya, besaran yang dipakai dalam pengukuran jumlah radiasi selalu didasarkan pada jumlah ion yang terbentuk dalam keadaan tertentu atau pada jumlah energi radiasi yang diserahkan kepada bahan.

Sama halnya dengan besaran-besaran fisika lainnya, radiasi juga mempunyai ukuran atau satuan yaitu :

1. Dosis Serap

Radiasi dapat mengakibatkan ionisasi pada jaringan atau medium yang dilaluinya. Untuk mengukur besarnya energi radiasi yang diserap oleh medium perlu diperkenalkan suatu besaran yang tidak bergantung pada jenis radiasi, energi radiasi maupun sifat bahan penyerap, tetapi hanya bergantung pada jumlah energi radiasi yang diserap persatuan massa bahan yang menerima penyinaran radiasi tersebut. Untuk mengetahui jumlah energi yang diserap oleh medium ini digunakan besaran dosis serap. Dosis serap diidentifikasi sebagai banyaknya jumlah energi yang diserap oleh bahan persatuan massa bahan itu. Dosis serap menyatakan ukuran banyaknya energi yang diberikan oleh radiasi pengion kepada medium (jaringan). Besaran dosis serap ini memiliki satuan secara SI, yaitu gray (Gy) di mana $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Secara matematis dinyatakan sebagai:

$$D = \frac{E}{m} \quad (2.1)$$

dengan: D = Dosis serap (gray)

E = Energi yang diserap (joule)

m = Massa jaringan (kg)

2. Paparan

Paparan menyatakan intensitas sinar-X yang dapat menghasilkan ionisasi di udara dalam jumlah tertentu. Satuan paparan adalah coulomb per kilogram udara (C/kg) dan diberi nama khusus roentgen (R), dimana satu roentgen didefinisikan sebagai intensitas sinar-X yang dapat menghasilkan ionisasi di udara sebanyak $1,61 \times 10^{15}$ pasangan ion per kg udara, sehingga $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$.

Secara matematis, paparan dinyatakan sebagai:

$$X = \frac{Q}{m} \quad (2.2)$$

dengan: X = Paparan (roentgen)

Q = Muatan elektron yang timbul (coulomb)

m = Massa udara (kg)

2.2.4 Karakteristik Pesawat Sinar-X

Karakteristik pesawat sinar-X yang dimaksud adalah sifat dasar yang mempengaruhi keluaran tabung pesawat sinar-X yang pada akhirnya mempengaruhi pembentukan citra dan dosis yang diterima pasien. Parameter uji yang digunakan dalam menentukan karakteristik pesawat sinar-X adalah sebagai berikut (Health Department of Western Australia, 2006) :



1. Akurasi Tegangan Tabung

Pengukuran akurasi tegangan tabung pesawat sinar-X bertujuan untuk mengetahui akurasi pengaturan tegangan pada panel kontrol pesawat dengan hasil keluaran tabung sinar-X. Tegangan pada panel pesawat dengan tegangan terukur sangat berpengaruh terhadap paparan radiasi yang akan diterima oleh pasien. Batas toleransi maksimum yang diperbolehkan adalah $\pm 10\%$, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.3)

$$\left| \frac{kV_{panel} - kV_{terukur}}{kV_{panel}} \right| = \pm 10\% \quad (2.3)$$

dengan : kV_{panel} = nilai tegangan yang diatur pada panel (kV)

$kV_{terukur}$ \equiv nilai tegangan yang terukur setelah penyinaran (kV)

2. Akurasi Waktu Eksposi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui akurasi pengaturan waktu pada panel kontrol pesawat dengan hasil keluaran tabung sinar-X. Hubungan antara waktu panel dengan waktu terukur juga sangat berpengaruh terhadap paparan radiasi yang akan diterima oleh pasien. Batas toleransi yang diperbolehkan adalah $\pm 10\%$, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.4).

$$\left| \frac{t_{panel} - t_{terukur}}{t_{panel}} \right| = \pm 10\% \quad (2.4)$$

dengan : t_{panel} = waktu yang diatur pada panel (s)

$t_{terukur}$ = waktu yang terukur setelah penyinaran (s)

3. Linieritas Keluaran

Tujuan pengukuran linieritas keluaran radiasi terhadap berbagai kondisi arus adalah untuk mengetahui linieritas arus tabung terhadap pengaturan pada panel kontrol pesawat. Batas toleransi yang diperbolehkan adalah 0,1 seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$\frac{|X_1 - X_2|}{(X_1 + X_2)} \leq 0,1 \quad (2.5)$$

dengan : X_1 = nilai arus yang dikeluarkan pada kondisi pertama (mGy/mAs)

X_2 = nilai arus yang dikeluarkan pada kondisi kedua (mGy/mAs)

4. Stabilitas Tegangan , Waktu dan Keluaran Radiasi

Pengukuran ini bertujuan untuk melihat kestabilan alat dalam melakukan pengulangan penyinaran pada kondisi yang sama. Hasil pengukuran melebihi batas

toleransi menandakan hasil keluaran tabung yang tidak stabil, sehingga perlu dilakukan pengaturan ulang dan pengecekan lebih lanjut yang meliputi stabilitas daya input, komponen pengatur elektronik pada panel pesawat dan kondisi tabung sinar-X. Batas toleransi yang diperbolehkan dalam pengukuran ini jika nilai koefisien variasi $(C) \leq 5\%$, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.6)

$$C = \frac{S}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.6)$$

dengan : C = koefisien variasi

x_i = nilai pengukuran dosis ke-i (mGy)

\bar{x} = nilai dosis rata-rata (mGy)

n = jumlah pengukuran

S = standar deviasi

5. Kualitas Berkas Sinar-X

Kualitas berkas sinar-X ditentukan oleh kemampuan daya tembus sinar-X menembus materi. Kemampuan daya tembus radiasi pesawat radiodiagnostik ditentukan berdasarkan nilai HVL (*Half Value Layer*). HVL merupakan ketebalan standar suatu material yang dibutuhkan untuk mengurangi intensitas berkas radiasi menjadi setengah dari harga semula yang diukur dengan alat untuk pengukuran

paparan radiasi (Sprawls, 1982). Standar syarat minimum tebal HVL ditunjukkan pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Syarat Minimum Tebal HVL

Tegangan (kV)	Tebal HVL (mmAl)
40	1,3
50	1,5
60	1,8
70	2,1
80	2,3
90	2,5
100	2,7

Sumber : Health Department of western Australia, *Radiation Safety Act 1975 workbook 3, Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing Major Radiographic Equipment* .2006.

6. Uji Kebocoran Tabung Sinar-X

Pengukuran kebocoran tabung bertujuan untuk menentukan efektifitas pelindung radiasi tabung sinar-X pada kondisi tegangan kerja maksimum. Batas kebocoran tabung yang diperbolehkan adalah 1 mGy/jam pada jarak satu meter dari titik fokus, dihitung menggunakan persamaan (2.7).

$$\dot{x} = \frac{X}{s} \cdot \frac{I_{tabung}}{I_{panel}} \quad (2.7)$$

$$I_{tabung} = \frac{\text{Daya maksimum tabung sinar-X (watt)}}{\text{Tegangan panel (kV)}}$$

Dengan : \dot{x} = laju kebocoran tabung (mGy/jam)

x = dosis radiasi (mGy)

I_{panel} = arus pada panel (mA)

I_{tabung} = arus pada tabung (mA)

s = waktu (jam)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Dr. Reksodiwiryo Padang dan di Instalasi Radiologi RSI Siti Rahmah Padang.

3.2 Peralatan Penelitian

1. Pesawat sinar-X konvensional merek Toshiba model DRX-1824B yang terlihat pada Gambar 3.1, dengan spesifikasi sebagai berikut :

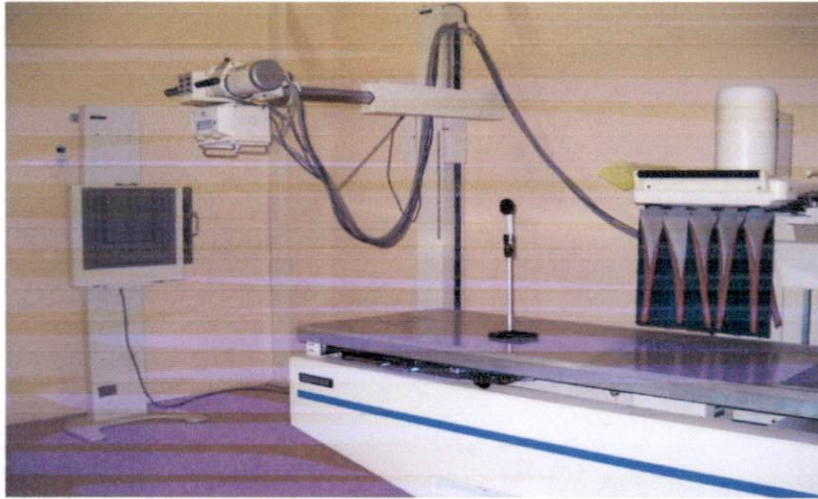
- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| a. Merek pesawat | : Toshiba Rotanode |
| b. Tahun pembuatan | : 2010 |
| c. Unit model | : DRX-1824B |
| d. No. seri | : 10H327 |
| e. Generator sinar-X | : KXO-32S |
| f. Arus maksimum | : 500 mA |
| g. Tegangan maksimum | : 150 kV |
| h. Ukuran <i>focal spot</i> | : 1,2 mm |
| i. Negara asal | : Jepang |



Gambar 3.1 Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Unit Mode DRX-1824B

2. Pesawat sinar-X konvensional merek Toshiba model DRX-1603B yang terlihat pada Gambar 3.2 memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. Merek pesawat : Toshiba Rotanode
- b. Tahun pembuatan : 1999
- c. Unit Model : DRX-1603B
- d. No. seri : 9K746
- e. Generator Sinar-X : KXO-15E
- f. Arus maksimum : 2 A
- g. Tegangan maksimum : 150 kV
- h. Ukuran *focal spot* : 2,0 mm
- i. Negara asal : Jepang



Gambar 3.2 Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Unit Mode DRX-1603B

3. *Xi UNFORS Set*

Xi UNFORS Set digunakan untuk mengukur tegangan, waktu dan paparan radiasi yang dihasilkan oleh tabung pesawat sinar-X. *Xi UNFORS Set* yang digunakan terdiri dari 8202060-A *Xi Survey Detector* S/N : 150034 yang digunakan untuk mengukur kebocoran pada tabung sinar-X, ditunjukkan pada Gambar 3.2. *Xi R/F & MAM Detector Platinum* sebagai detektor, ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan *Xi Base Unit Platinum* sebagai pembaca hasil pengukuran dari *Xi R/F & MAM Detector Platinum*, ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 8202060-A Xi Survey Detector S/N : 150034



Gambar 3.4 8202031-C Xi R/F & MAM Detector Platinum
S/N : 151685



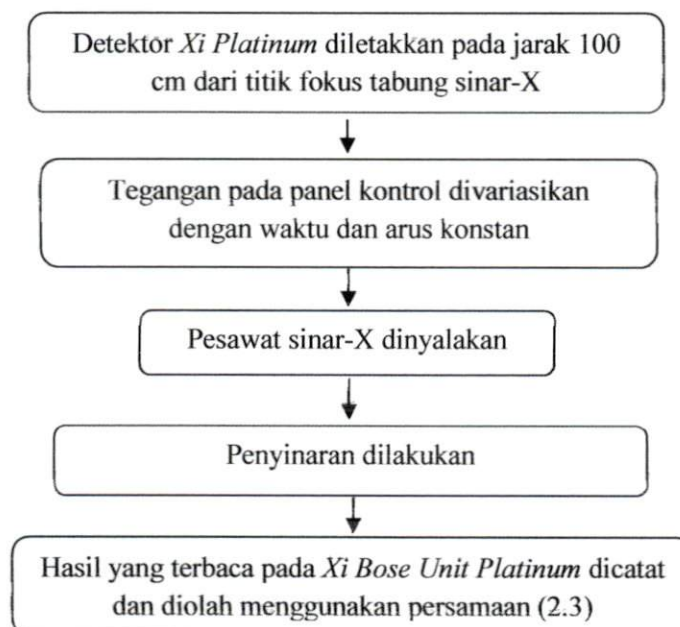
Gambar 3.5 8201011-B Xi Base Unit Platinum S/N : 155175

3.3 Tata Laksana Penelitian

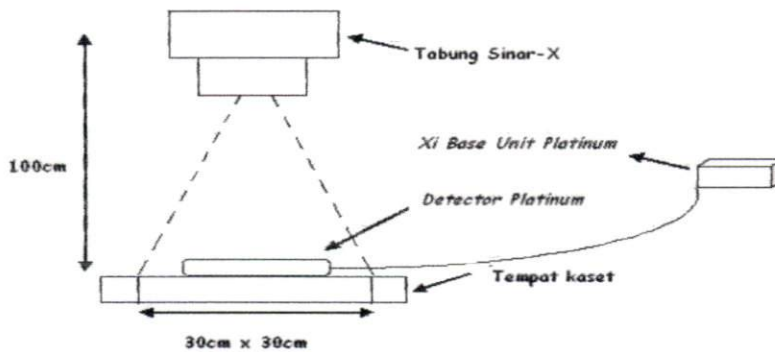
Parameter uji yang digunakan dalam menentukan karakteristik tabung pesawat Sinar-X adalah :

3.3.1 Uji Akurasi Tegangan Tabung

Pengukuran uji akurasi tegangan tabung dilakukan menggunakan detector *xi platinum* yang diletakkan pada jarak 100 cm dari titik fokus tabung. Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan tegangan pada panel kontrol dan penyinaran dilakukan. Diagram alir dan skema pengukuran untuk uji akurasi tegangan tabung ditunjukkan pada Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



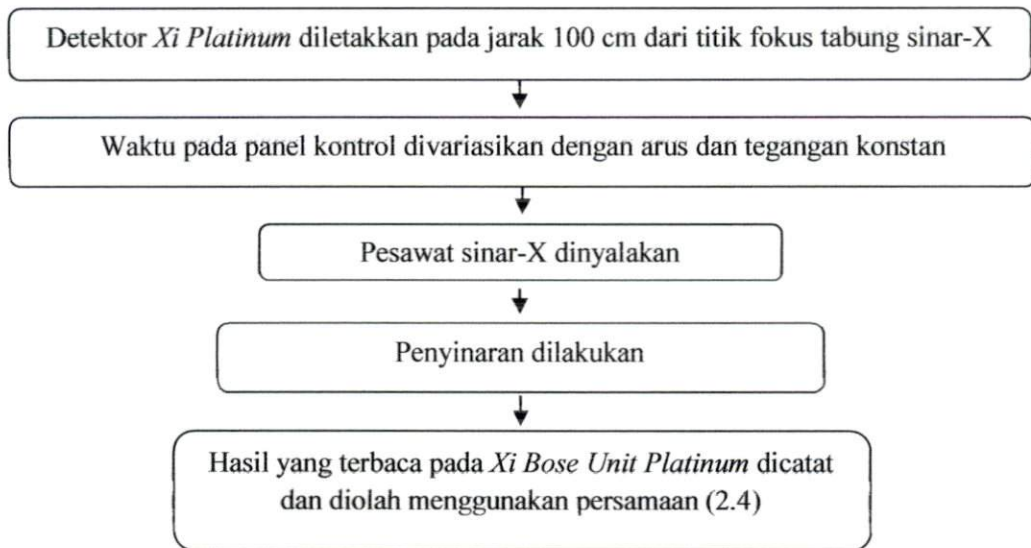
Gambar 3.6 Diagram Alir Uji Akurasi Tegangan



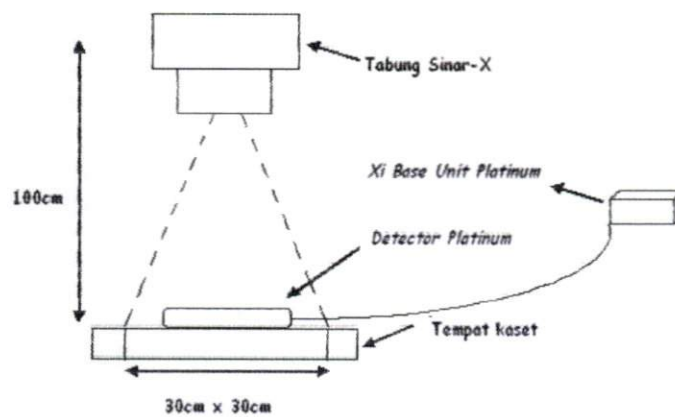
Gambar 3.7 Skema Uji Akurasi Tegangan

3.3.2 Uji Akurasi Waktu Eksposi

Pengukuran akurasi waktu eksposi dilakukan dengan memvariasikan waktu pada panel kontrol sedangkan arus dan tegangan dalam kondisi konstan. Keluaran pada pesawat sinar-X akan diukur dengan detektor *xi platinum* dan hasil akan terbaca pada *xi base unit platinum*. Diagram alir dari uji akurasi waktu diperlihatkan pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9.



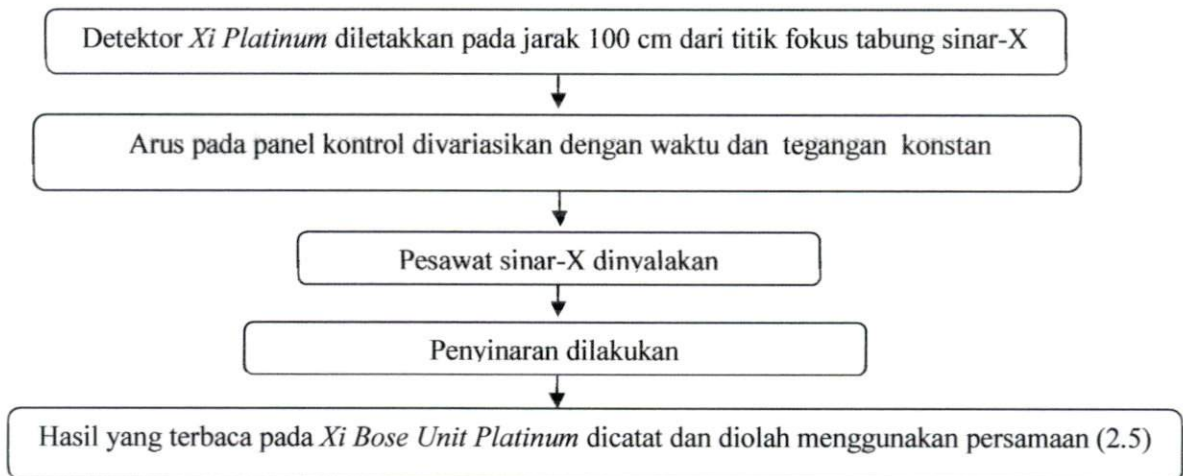
Gambar 3.8 Diagram Alir Uji Akurasi Waktu Eksposi



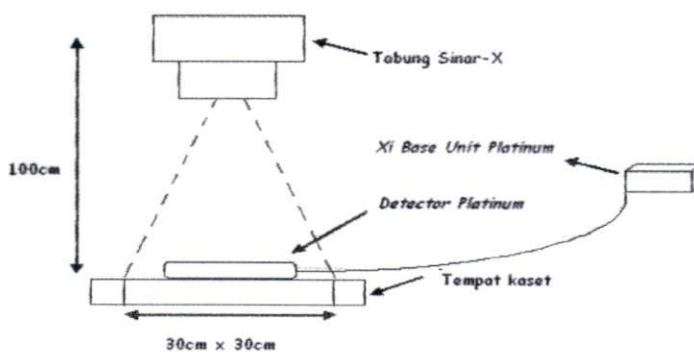
Gambar 3.9 Skema Uji Akurasi Waktu Eksposi

3.3.3 Uji Linieritas Keluaran

Pengukuran linieritas keluaran menggunakan detektor *xi platinum* yang diletakkan pada jarak 100 cm dari titik fokus tabung dengan memvariasikan kondisi arus sedangkan kondisi waktu dan tegangan konstan. Diagram alir dan skema dari uji reproduibilitas tegangan, waktu dan keluaran radiasi diperlihatkan pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.



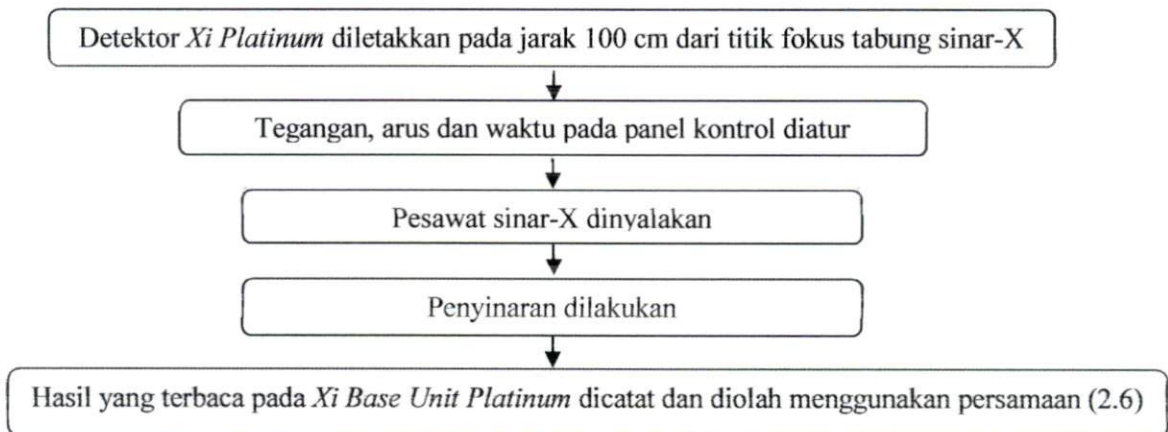
Gambar 3.10 Diagram Alir Uji Linieritas Keluaran



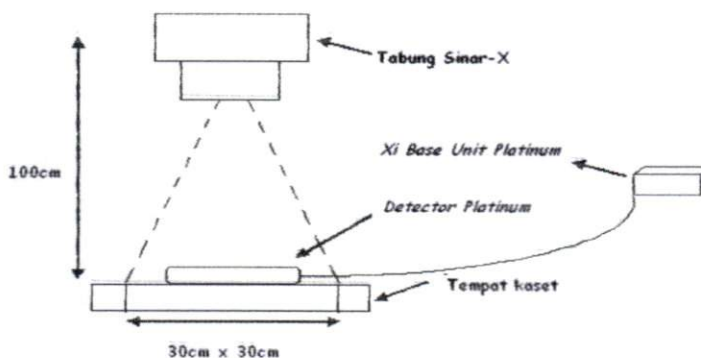
Gambar 3.11 Skema Uji Linieritas Keluaran

3.3.4 Uji Stabilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi dan Keluaran Radiasi

Pengukuran stabilitas dilakukan pada kondisi tegangan, arus, dan waktu konstan dengan menggunakan detektor *xi platinum* yang diletakkan pada jarak 100 cm dari titik fokus tabung sinar-X. Diagram alir dan skema dari uji stabilitas tegangan tabung, waktu eksposi dan keluaran radiasi diperlihatkan pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13.



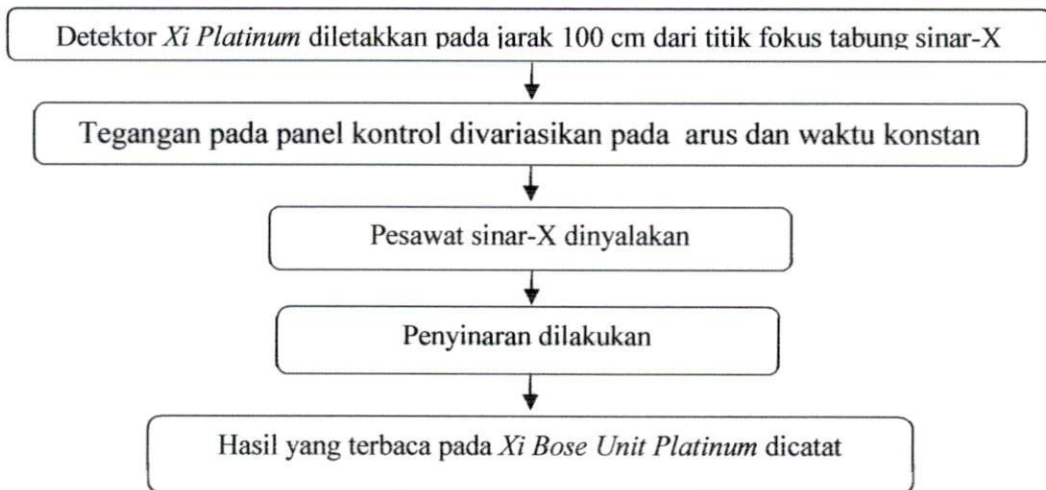
Gambar 3.12 Diagram Alir Uji Stabilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi dan Keluaran Radiasi



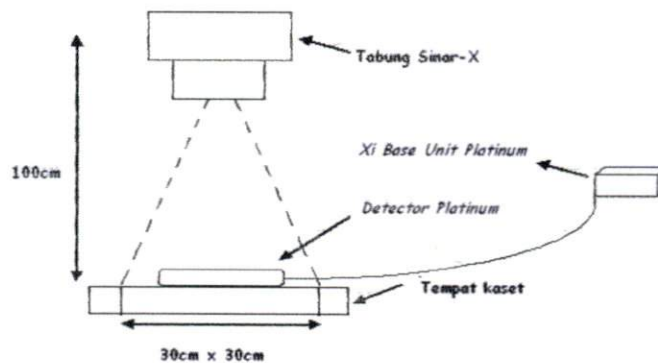
Gambar 3.13 Skema Uji Stabilitas Tegangan Tabung, Waktu Eksposi dan Keluaran Radiasi

3.3.5 Uji Kualitas Berkas sinar-X

Pengukuran kualitas berkas sinar-X dilakukan dengan memvariasikan tegangan pada panel kontrol pada kondisi arus dan waktu konstan, keluaran diukur menggunakan detektor *xi platinum* yang diletakkan pada jarak 100 cm dari titik fokus tabung sinar-X. Diagram alir dan skema dari uji kualitas berkas sinar-X diperlihatkan pada Gambar 3.14 dan Gambar 3.15.



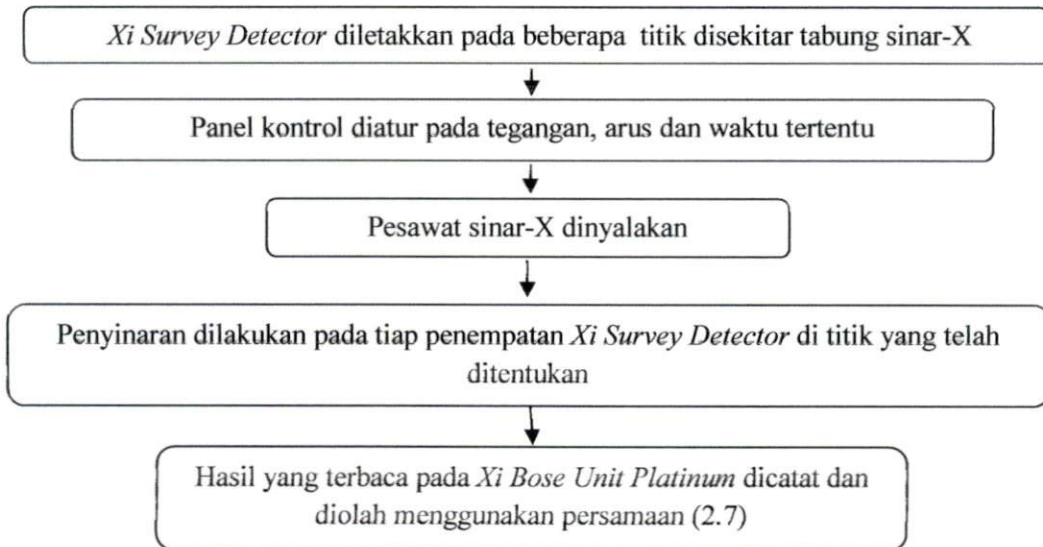
Gambar 3.14 Diagram Alir Kualitas Berkas Sinar-X



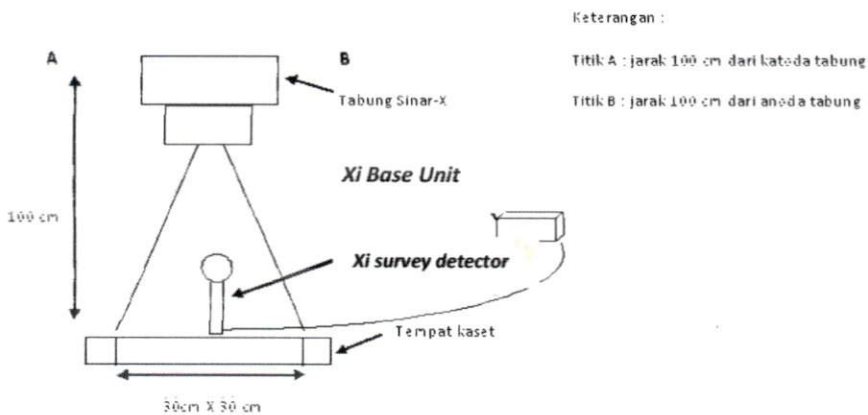
Gambar 3.15 Skema Uji Kualitas Berkas Sinar-X

3.3.6 Uji Kebocoran Tabung Sinar-X.

Pengujian kebocoran tabung sinar-X dilakukan menggunakan *xi survey detector* yang diletakkan pada beberapa titik disekitar tabung sinar-X dan pengukuran dilakukan satu kali disetiap titik pada kondisi tegangan, arus dan waktu konstan. Diagram alir dan skema dari uji kebocoran tabung sinar-X diperlihatkan pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17.



Gambar 3.16 Diagram Alir Uji Kebocoran Tabung Sinar-X



Gambar 3.17 Skema Uji Kebocoran Tabung Sinar-X

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai karakteristik pesawat sinar-X dilakukan pada dua model pesawat radiodiagnostik, yaitu :

1. Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Model DRX-1824B (Pesawat I)
2. Pesawat Radiodiagnostik Toshiba Model DRX-1603B (Pesawat II).

Adapun hasil dan pembahasan penelitian adalah sebagai berikut :

4.1 Pengukuran Keluaran Tabung Pesawat Sinar-X

4.1.1 Akurasi Tegangan

Hasil pengukuran akurasi tegangan pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Akurasi Tegangan Pesawat I

No.	Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	$\frac{ kV_{terukur} - kV_{panel} }{kV_{panel}}$	Deviasi (%)
1	40	39,03	0,0242	2,42
2	50	50,45	0,0090	0,90
3	60	60,34	0,0057	0,57
4	70	71,08	0,0154	1,54
5	80	82,51	0,0314	3,14
6	90	93,52	0,0391	3,91
Rata-rata				2,08
Batas Toleransi				$\pm 10 \%$

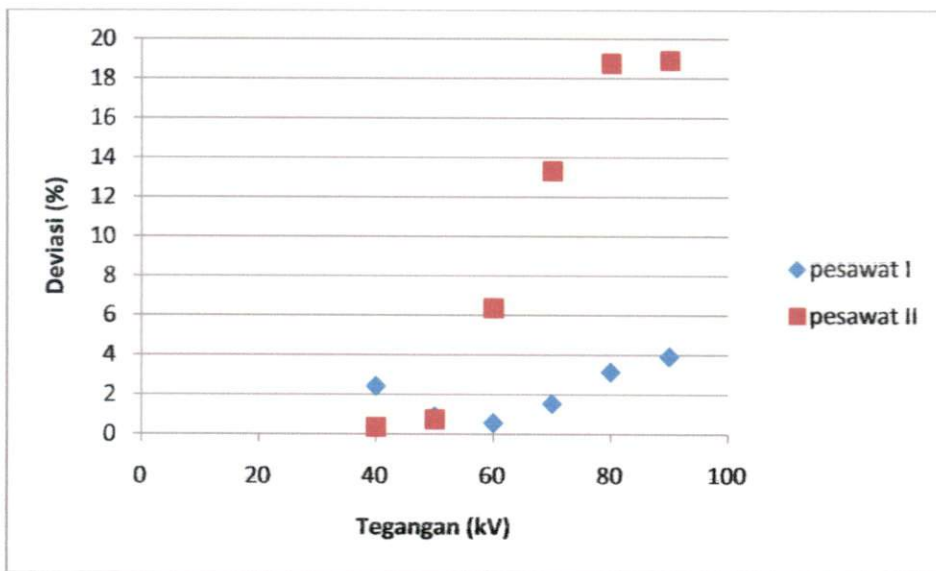
Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa rerata akurasi tegangan yang diujikan pada pesawat I masih berada di bawah batas toleransi $\pm 10\%$. Artinya, nilai tegangan yang dikeluarkan pesawat masih mendekati dengan nilai tegangan yang diatur pada panel kontrol. Perbedaan tegangan panel terhadap tegangan terukur pada pesawat I dapat terjadi karena pesawat sering digunakan sehingga efisiensinya menurun.

Tabel 4.2. Akurasi Tegangan Pesawat II

No.	Tegangan Panel (kV)	Tegangan Terukur (kV)	$\frac{ kV_{\text{terukur}} - kV_{\text{panel}} }{kV_{\text{panel}}}$	Deviasi (%)
1	40	39,86	0,0035	0,35
2	50	50,37	0,0074	0,74
3	60	63,81	0,0635	6,35
4	70	79,32	0,1331	13,31
5	80	94,99	0,1874	18,74
6	90	107	0,1889	18,89
Rata-rata				9,73
Batas Toleransi				$\pm 10 \%$

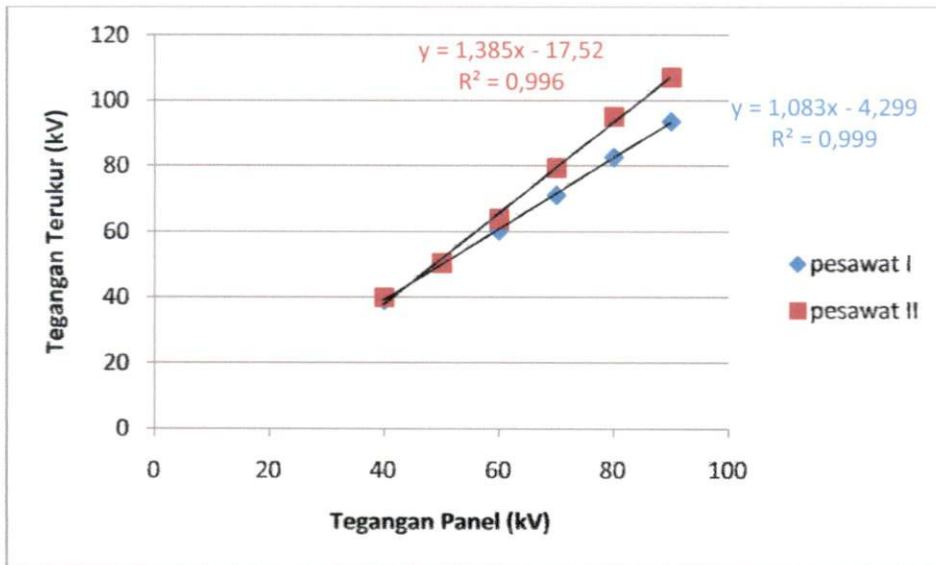
Tabel 4.2 menunjukkan akurasi tegangan pada pesawat II secara rata-rata sebesar 9,73%, nilai ini masih berada di bawah batas toleransi. Namun nilai tegangan panel yang layak digunakan adalah 40 kV, 50 kV, dan 60 kV, karena tegangan tersebut masih berada di bawah batas toleransi. Tegangan 70 kV, 80 kV, dan 90 kV perlu mendapatkan perhatian khusus karena tegangan tersebut sudah berada di atas batas toleransi. Artinya, tegangan yang diatur pada panel tidak sesuai dengan

tegangan yang keluar dari pesawat. Untuk menindaklanjuti ketidaksesuaian tegangan panel terhadap tegangan terukur, hal ini bisa terjadi karena usia generator pesawat yang sudah lama dan terlalu sering dioperasikan sehingga efisiensinya menurun.



Gambar 4.1. Grafik Deviasi (%) Pesawat I dan Pesawat II pada Uji Akurasi tegangan

Gambar 4.1 menunjukkan pesawat II memiliki deviasi lebih besar dari pada pesawat I pada uji akurasi tegangan. Namun secara rata-rata nilai deviasi kedua pesawat masih berada di bawah batas toleransi.



Gambar 4.2. Grafik Hubungan Tegangan Panel (kV) terhadap Tegangan Terukur (kV)

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan yang linier antara tegangan panel dengan tegangan terukur pada masing-masing pesawat. Pada pesawat I didapatkan persamaan garis $y = 1,083x - 4,229$ dengan koefisien relasi $R = 0,999$. Artinya, untuk setiap perubahan tegangan panel sebesar 1 kV maka terjadi perubahan tegangan terukur sebesar 1,083 kV dengan nilai konstanta sebesar -4,229. Koefisien korelasi sebesar 0,999 menunjukkan adanya hubungan linier yang sangat kuat antara tegangan panel dengan tegangan terukur. Pada pesawat II didapatkan persamaan garis $y = 1,385x - 17,52$ dengan koefisien relasi $R = 0,998$. Artinya, untuk setiap perubahan tegangan panel sebesar 1 kV maka terjadi perubahan tegangan terukur sebesar 1,385 kV dengan nilai konstanta sebesar -17,52. Koefisien korelasi sebesar 0,998 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara tegangan panel dengan tegangan terukur.

4.1.2 Akurasi Waktu Eksposi

Hasil pengukuran akurasi waktu eksposi pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3. Akurasi Waktu Eksposi Pesawat I

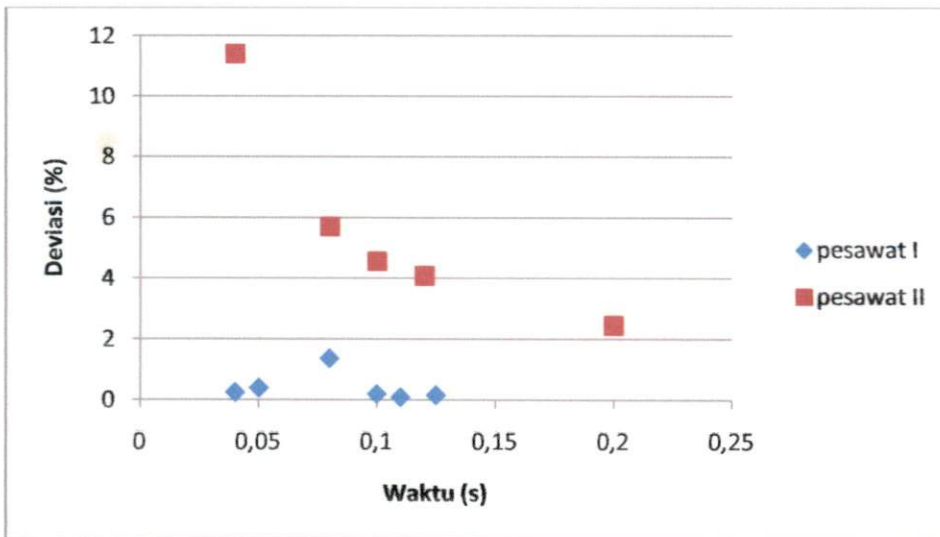
No.	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	$\frac{ t_{\text{terukur}} - t_{\text{panel}} }{t_{\text{panel}}}$	Deviasi (%)
1	0,040	0,0401	0,0025	0,25
2	0,050	0,0498	0,0040	0,40
3	0,080	0,0811	0,0137	1,37
4	0,100	0,1002	0,0020	0,20
5	0,110	0,1101	0,0009	0,09
6	0,125	0,1252	0,0016	0,16
Rata-rata				0,41
Batas Toleransi				$\pm 10 \%$

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa nilai rata-rata akurasi waktu eksposi pesawat I sebesar 0,41 % masih berada di bawah batas toleransi $\pm 10\%$. Artinya, waktu terukur masih mendekati waktu yang diatur pada panel kontrol.

Tabel 4.4. Akurasi Waktu Eksposi Pesawat II

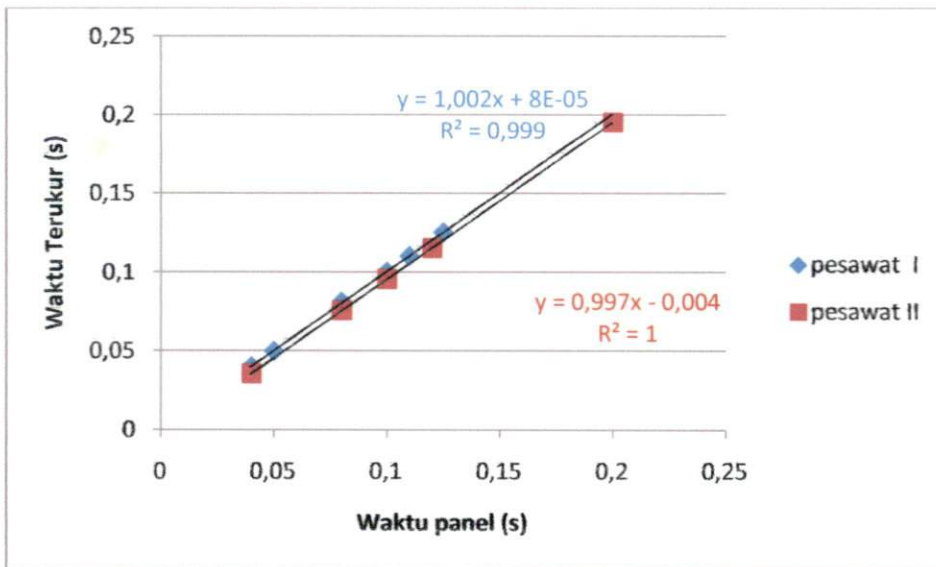
No.	Waktu Panel (s)	Waktu Terukur (s)	$\left \frac{t_{\text{terukur}} - t_{\text{panel}}}{t_{\text{panel}}} \right $	Deviasi (%)
1	0,04	0,03544	0,114	11,4
2	0,08	0,07544	0,057	5,7
3	0,10	0,09544	0,0456	4,56
4	0,12	0,1151	0,0408	4,08
5	0,20	0,1951	0,0245	2,45
Rata-rata				5,64
Batas Toleransi				$\pm 10 \%$

Tabel 4.4 menunjukkan nilai rata-rata akurasi waktu eksposi pada pesawat II sebesar 5,64 % masih berada di bawah batas toleransi $\pm 10 \%$, namun disarankan kepada radiografer agar tidak menggunakan waktu 0,04 s karena nilai toleransi pada kondisi tersebut sebesar 11,4 % sudah berada di atas batas toleransi 10%. Walaupun nilai penyimpangan yang terjadi hanya sedikit dari batas toleransi, secara teoritis waktu eksposi mempengaruhi jumlah paparan radiasi yang diterima oleh pasien, semakin lama waktu yang digunakan maka semakin besar paparan radiasi yang diterima pasien. Hal ini dapat disebabkan karena usia generator yang sudah tua sehingga alat tidak sensitif pada pengaturan waktu yang singkat.



Gambar 4.3 Grafik Deviasi (%) Pesawat I dan Pesawat II pada Uji Akurasi Waktu Eksposi

Gambar 4.3 menunjukkan pesawat II memiliki deviasi lebih besar dari pada pesawat I pada pengujian akurasi waktu eksposi. Namun secara rata-rata deviasi kedua pesawat masih berada di bawah batas toleransi.



Gambar 4.4. Grafik Hubungan Waktu Panel (s) terhadap Waktu Terukur (s)

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan yang linier antara waktu panel dengan waktu terukur. Persamaan garis pada pesawat I yaitu $y = 1,002x + 0,00008$ dengan nilai koefisien korelasi $R = 0,999$. Artinya, untuk setiap perubahan waktu panel sebesar 1 s maka terjadi perubahan waktu terukur sebesar 1,002 s dengan nilai konstanta sebesar 0,00008. Koefisien relasi $R = 0,999$ menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara waktu panel dengan waktu terukur. Pada pesawat II didapatkan persamaan garis $y = 0,997x - 0,004$ dengan koefisien korelasi $R = 1$. Artinya, untuk setiap perubahan waktu panel sebesar 1 s maka terjadi perubahan waktu terukur sebesar 0,997 s dengan nilai konstanta sebesar -0,004. Koefisien relasi $R = 1$ menunjukkan hubungan linier yang sempurna, hal ini terjadi karena semua titik

data terletak pada satu garis lurus dengan kemiringan positif sehingga jumlah kuadrat semua simpangan bernilai 0 (Walpole, 1982).

4.1.3 Linieritas Keluaran

Hasil pengukuran terhadap linieritas keluaran pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5. Linieritas Keluaran Pesawat I

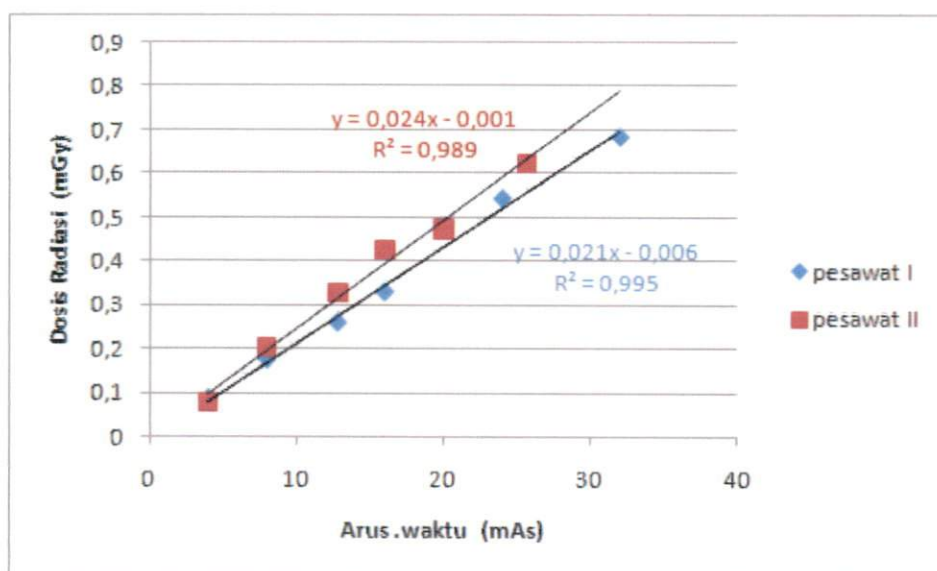
No.	Kondisi Panel			Dosis Radiasi (mGy)	Keluaran (mGy / mAs)	Koefisien Linier
	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)			
1	60	50	0,08	0,0863	0,02158	0,00644
2	60	100	0,08	0,1749	0,02186	0,03713
3	60	160	0,08	0,2598	0,02029	0,00816
4	60	200	0,08	0,3301	0,02063	0,04755
5	60	300	0,08	0,5446	0,02269	0,02849
6	60	400	0,08	0,6859	0,02143	
Rata-rata						0,02555
Batas Toleransi						$\leq 0,1$

Linieritas keluaran pesawat I yang terdapat pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa nilai koefisien linier secara rata-rata sebesar 0,02555, nilai ini masih berada di bawah batas toleransi 0,1. Artinya, keluaran radiasi terhadap arus pada pesawat I masih linier.

Tabel 4.6. Linieritas Keluaran Pesawat II

No.	Kondisi Panel			Dosis Radiasi (mGy)	Keluaran (mGy / mA.s)	Koefisien Linier
	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)			
1	60	50	0,08	0,0767	0,01918	0,13247
2	60	100	0,08	0,2003	0,02504	0,01083
3	60	160	0,08	0,3275	0,02559	0,01861
4	60	200	0,08	0,4249	0,02656	0,05883
5	60	250	0,08	0,4721	0,02360	0,01356
6	60	320	0,08	0,6209	0,02425	
Rata-rata						0,04686
Batas Toleransi						≤ 0,1

Tabel 4.6 menunjukkan linieritas keluaran pesawat II secara rata-rata 0,04686 masih berada di bawah batas toleransi 0,1 namun pada arus 50 mA nilai koefisien liniernya berada di atas batas toleransi 0,1. Secara teori, semakin besar arus yang diberikan maka semakin besar dosis radiasi yang diterima pasien. Tetapi hasil pengukuran menunjukkan nilai arus yang paling kecil memiliki koefisien linier di atas nilai toleransi. Hal ini dapat disebabkan karena usia generator pada pesawat II yang sudah tua sehingga tidak sensitif lagi pada nilai arus yang rendah. Penggunaan arus yang berlebihan dapat merusak citra yang dihasilkan karena menyebabkan gambar pada film terlihat lebih hitam dan memberikan kelebihan paparan radiasi kepada pasien.



Gambar 4.5. Grafik Hubungan Arus.waktu (mAs) terhadap Dosis (mGy)

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan arus dan waktu terhadap dosis radiasi, setiap kenaikan arus dan waktu akan meningkatkan dosis radiasi. Persamaan garis pada pesawat I yaitu $y = 0,021x - 0,006$ dengan koefisien relasi $R = 0,997$. Artinya, untuk setiap perubahan arus dan waktu pada tabung sebesar 1 mAs maka terjadi perubahan dosis radiasi sebesar 0,021 mGy dengan nilai konstanta sebesar -0,006. Koefisien relasi sebesar 0,997 menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara arus dan waktu pada tabung dengan dosis radiasi. Persamaan garis pada pesawat II yaitu $y = 0,024x - 0,001$ dengan koefisien relasi $R = 0,994$. Artinya, untuk setiap perubahan arus dan waktu pada tabung sebesar 1 mAs maka akan terjadi perubahan dosis radiasi sebesar 0,024 dengan nilai konstanta sebesar -0,001. Koefisien korelasi sebesar 0,994 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara arus tabung dengan dosis radiasi.

4.1.4 Stabilitas Tegangan , Waktu dan Keluaran Radiasi

Hasil pengukuran terhadap stabilitas tegangan, waktu dan keluaran radiasi pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

Tabel 4.7. Stabilitas Tegangan, Waktu dan Keluaran Radiasi Pesawat I

No.	Kondisi Panel			Pengukuran Alat		
	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)	Tegangan (kV)	Waktu (ms)	Dosis Radiasi (mGy)
1	60	250	50	60,34	50,11	0,2539
2	60	250	50	60,77	50,11	0,2546
3	60	250	50	60,64	50,11	0,2543
4	60	250	50	60,68	50,11	0,2546
5	60	250	50	60,5	50,11	0,2543
Rata-rata				60,59	50,11	0,2543
Standar Deviasi				0,1517	0,00	0,0003
Koefisien Variasi (C) (%)				0,2504	0,00	0,1179
Batas Toleransi				≤ 5 %		

Tabel 4.7 menunjukkan nilai koefisien variasi (C) pada pesawat I adalah 0,2504 % untuk stabilitas tegangan, 0 % untuk stabilitas waktu dan 0,1179 % untuk stabilitas dosis radiasi. Nilai tersebut berada di bawah batas toleransi 5 %. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa kondisi pesawat I dalam keadaan stabil untuk melakukan penyinaran pada kondisi yang sama.

Tabel 4.8. Stabilitas Tegangan, Waktu dan Keluaran Radiasi Pesawat II

No.	Kondisi Panel			Pengukuran Alat		
	Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (ms)	Tegangan (kV)	Waktu (ms)	Dosis Radiasi (mGy)
1	60	250	50	63,81	45,22	0,2846
2	60	250	50	63,58	45,22	0,2843
3	60	250	50	63,41	45,00	0,2841
4	60	250	50	63,34	45,00	0,2834
5	60	250	50	63,35	44,88	0,2817
Rata-rata				63,498	45,064	0,28362
Standar Deviasi				0,19917	0,00015	0,00116
Koefisien Variasi (C) (%)				0,31366	0,00033	0,40899
Batas Toleransi				$\leq 5\%$		

Tabel 4.8 menunjukkan nilai koefisien variasi (C) pada pesawat II adalah 0,31366 % untuk koefisien variasi tegangan, 0,00033 % untuk variasi waktu, dan 0,40899 % untuk koefisien variasi dosis radiasi. Nilai tersebut masih berada di bawah batas toleransi 5 %. Hasil pengukuran ini menunjukkan bahwa kondisi pesawat II masih dalam keadaan baik untuk melakukan pengulangan penyinaran dalam kondisi yang sama.

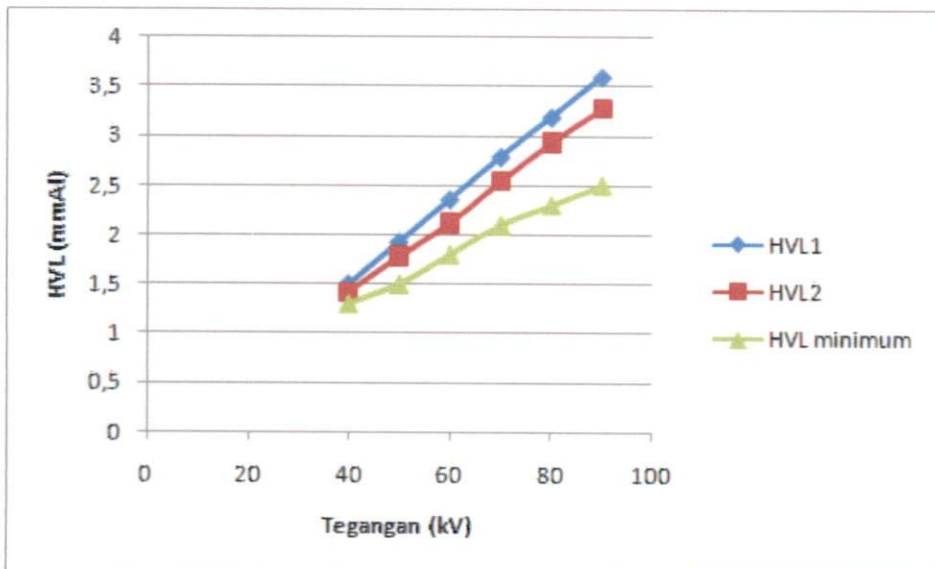
4.1.5. Kualitas Berkas Sinar-X

Hasil pengukuran terhadap kualitas berkas sinar-X pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Kualitas Berkas Sinar-X Pesawat I dan Pesawat II

No.	Tegangan Panel (kV)	HVL Pesawat I (mmAl)	HVL Pesawat II (mmAl)	Syarat Minimum HVL (mmAl)
1.	40	1,5	1,42	1,3
2.	50	1,93	1,78	1,5
3.	60	2,36	2,12	1,8
4.	70	2,79	2,54	2,1
5.	80	3,19	2,93	2,3
6.	90	3,6	3,27	2,5

Tabel 4.9 menunjukkan nilai HVL pesawat I dan pesawat II lebih besar dari nilai syarat minimum HVL. Artinya nilai HVL yang digunakan pada pesawat I dan pesawat II sudah memenuhi syarat.

**Gambar 4.6.** Grafik Hubungan Tegangan (kV) terhadap HVL (mmAl)

Gambar 4.6 menunjukkan nilai HVL kedua pesawat sinar-X masih berada di atas nilai HVL yang dianjurkan. Dari Gambar 4.6 juga terlihat hubungan linier antara tegangan terhadap HVL, nilai HVL semakin besar seiring dengan kenaikan nilai tegangan. Semakin besar nilai HVL menunjukkan semakin besar daya tembus dan intensitas radiasi, sehingga kualitas berkas radiasi yang dihasilkan semakin baik. Kualitas berkas sinar-X sangat perlu diketahui agar tujuan diagnostik tercapai, yaitu citra dapat dianalisis dengan baik dan tepat oleh dokter serta meminimalisasi dosis radiasi yang diterima pasien.

4.1.6 Kebocoran Tabung Sinar-X

Hasil pengukuran kebocoran tabung sinar-X pada pesawat I dan pesawat II ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4.10. Kebocoran Tabung Sinar-X Pesawat I

No.	Posisi	Jarak (cm)	Tegangan (kV)	Arus (mAs)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Laju Kebocoran Tabung (mGy/jam)
1	A	100	100	250	0,200	0,0005858	0,08435
2	B	100	100	250	0,200	0,0001053	0,01516
Batas Toleransi							≤ 1 mGy/jam

Tabel 4.10 menunjukkan bahwa nilai kebocoran tabung pesawat I pada titik A (anoda) 0,08435 mGy/jam dan kebocoran tabung pada titik B (katoda) sebesar

0,01516 mGy/jam. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa kebocoran tabung pesawat I masih di bawah batas toleransi 1 mGy/jam.

Tabel 4.11. Kebocoran Tabung sinar-X Pesawat II

No.	Posisi	Jarak (cm)	Tegangan (kV)	Arus (mAs)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Laju Kebocoran Tabung (mGy/jam)
1	A	100	90	200	0,25	0,00001961	0,0395
2	B	100	90	200	0,25	0,00007686	0,0031
Batas Toleransi							≤ 1 mGy/jam

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa laju kebocoran tabung pesawat II pada titik A (anoda) 0,0395 mGy/jam dan kebocoran tabung pada titik B (katoda) sebesar 0,0031 mGy/jam. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kebocoran tabung pesawat II masih berada di bawah batas toleransi 1 mGy/jam.

Tabung sinar-X merupakan tempat menghasilkan sinar-X dan memberikan radiasi kesekitarnya. Kebocoran tabung sinar-X dapat memberikan kontribusi dosis radiasi kepada pasien. Untuk menghindari paparan radiasi yang berasal dari kebocoran tabung sinar-X, apabila panel kontrol berdekatan dengan radiografer, maka radiografer dapat menggunakan pelindung radiasi berbahan timbal (Pb) seperti baju apron, sarung tangan apron, dan kaca mata Pb bila diperlukan.

4.2. Perbandingan Karakteristik Pesawat Sinar-X

4.2.1. Keluaran Radiasi

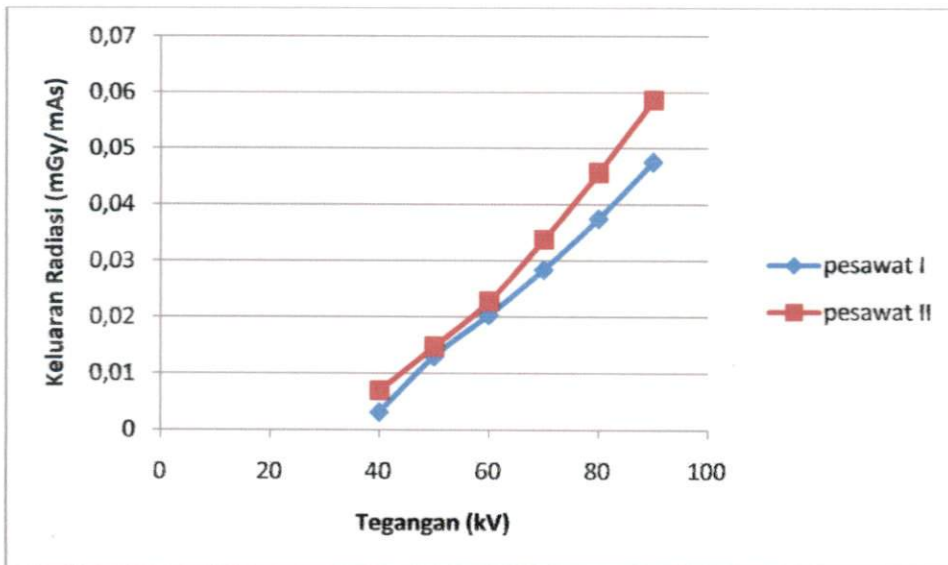
Keluaran radiasi pesawat I dan pesawat II pada kondisi arus dan waktu konstan ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Keluaran radiasi pada pesawat I

Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Keluaran Radiasi (mGy/mAs)
40	250	0,05	0,03903	0,0031224
50	250	0,05	0,1618	0,012944
60	250	0,05	0,2539	0,020312
70	250	0,05	0,3545	0,02836
80	250	0,05	0,468	0,03744
90	250	0,05	0,5938	0,047504

Tabel 4.13 Keluaran Radiasi pada Pesawat II

Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Keluaran Radiasi (mGy/mAs)
40	250	0,05	0,08665	0,006932
50	250	0,05	0,184	0,01472
60	250	0,05	0,2846	0,022768
70	250	0,05	0,4221	0,033768
80	250	0,05	0,5701	0,045608
90	250	0,05	0,7329	0,058632



Gambar 4.7 Keluaran Radiasi Tabung Sinar-X pada Tegangan yang Berbeda

Gambar 4.7 menunjukkan hubungan keluaran radiasi terhadap tegangan pada pesawat II lebih besar dari pesawat I. Keluaran radiasi tabung sinar-X dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tegangan, jenis generator pesawat sinar-X, dan usia tabung sinar-X. Tegangan digunakan untuk mengontrol keluaran radiasi dari tabung sinar-X, keluaran radiasi akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan tegangan. Selanjutnya keluaran radiasi dipengaruhi oleh jenis generator pesawat sinar-X. Pesawat II mempunyai jenis generator satu fasa. Generator satu fasa menghasilkan tegangan yang berubah-ubah selama proses produksi sinar-X, sehingga menghasilkan lebih banyak radiasi setiap satuan arus dan waktu. Pesawat I mempunyai jenis generator multi fasa, generator multi fasa menghasilkan

fluktuasi lebih sedikit selama proses produksi sinar-X, sehingga radiasi yang dihasilkan lebih sedikit setiap satuan arus dan waktu.

4.2.2 Laju Dosis Radiasi

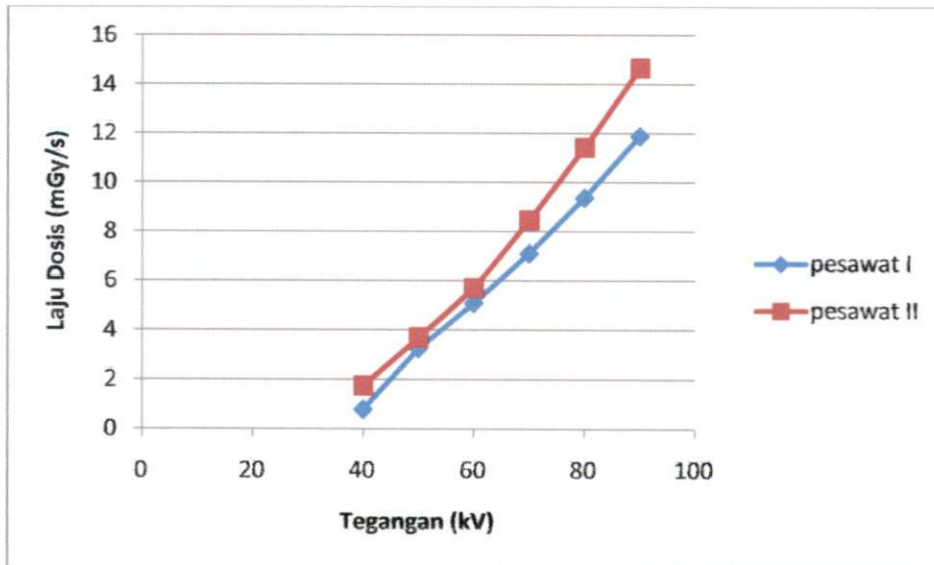
Laju dosis radiasi pesawat I dan pesawat II untuk waktu eksposi 0,05 s ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Laju Dosis Radiasi Pesawat I

Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Laju Dosis Radiasi (mGy/s)
40	250	0,05	0,03903	0,7806
50	250	0,05	0,1618	3,236
60	250	0,05	0,2539	5,078
70	250	0,05	0,3545	7,09
80	250	0,05	0,468	9,36
90	250	0,05	0,5938	11,876

Tabel 4.15 Laju Dosis Radiasi Pesawat II

Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (s)	Dosis Radiasi (mGy)	Laju Dosis Radiasi (mGy/s)
40	250	0,05	0,08665	1,733
50	250	0,05	0,184	3,68
60	250	0,05	0,2846	5,692
70	250	0,05	0,4221	8,442
80	250	0,05	0,5701	11,402
90	250	0,05	0,7329	14,658



Gambar 4.8 Laju Dosis Radiasi pada Tegangan yang Berbeda

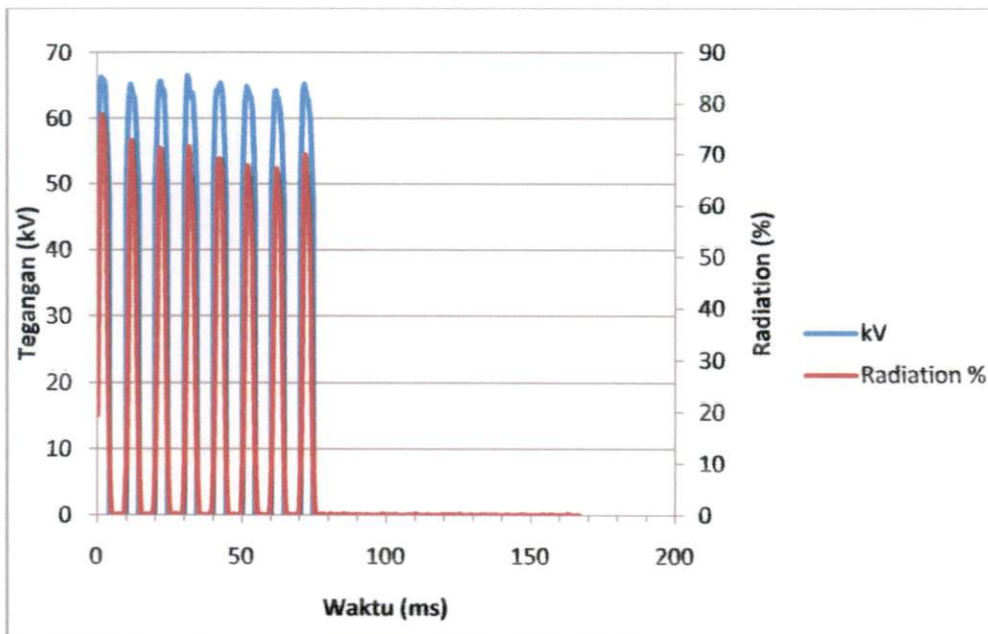
Gambar 4.8 menunjukkan hubungan laju dosis radiasi terhadap tegangan pada pesawat II lebih besar dari pesawat I. Laju dosis radiasi dipengaruhi oleh jenis generator dan usia tabung sinar-X. Pesawat II mempunyai generator jenis satu fasa, generator satu fasa menghasilkan tegangan yang berubah-ubah setiap satuan waktu, arus juga mengalami perubahan selama siklus tegangan. Hal ini menyebabkan paparan radiasi dikirimkan dalam bentuk serangkaian pulsa, antara pulsa yang satu dengan yang lainnya memiliki waktu selang, selama waktu selang tersebut radiasi yang dihasilkan tidak memiliki kontribusi dalam pembentukan citra tetapi memberikan radiasi terhadap pasien, sehingga dosis yang akan diterima pasien lebih besar. Pesawat I mempunyai generator jenis multi fasa yang menghasilkan tegangan

relatif konstan yang menyebabkan waktu penyinaran lebih singkat sehingga menghasilkan dosis yang lebih kecil dari pesawat II.

4.2.3 Generator dan Tabung

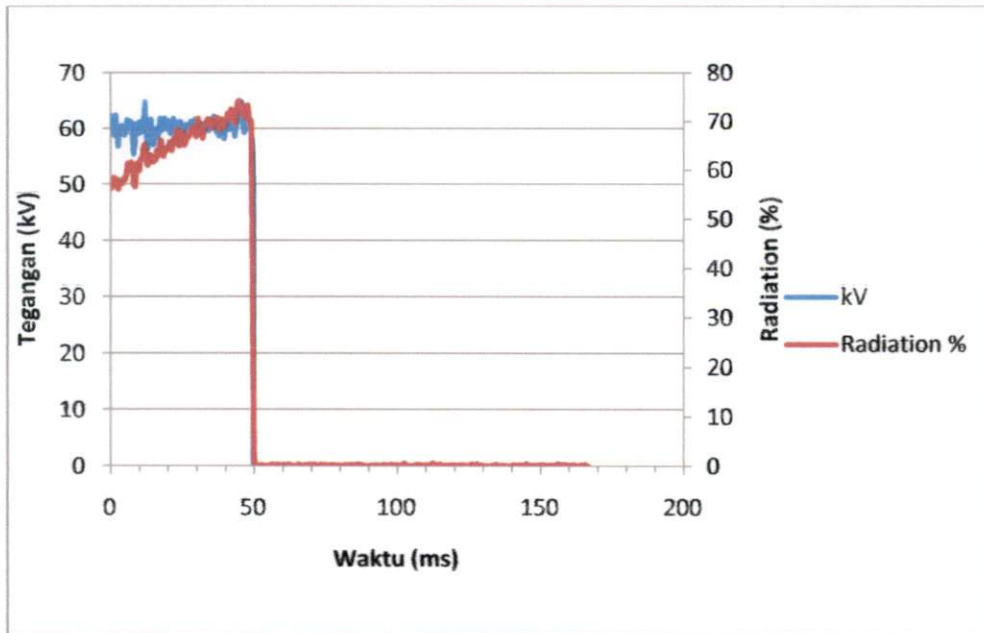
Generator merupakan komponen pada mesin sinar-X yang mengatur ulang, mengontrol, dan menyimpan energi sebelum dialiri ke tabung sinar-X. Fungsi generator bukan untuk menghasilkan energi, tetapi untuk mengubah energi menjadi bentuk yang sesuai untuk produksi sinar-X. Fungsi lain dari generator adalah memungkinkan operator untuk mengontrol tegangan, arus, dan waktu penyinaran (Sprawls,1982).

Pesawat sinar-X pada umumnya menggunakan generator jenis satu phasa dan multi phasa. Gambar 4.9 menunjukkan hubungan tegangan terhadap waktu pada generator satu phasa.



Gambar 4.9 Hubungan Tegangan terhadap Waktu pada Generator Satu Phasa (Pesawat I)

Pada generator satu phasa tegangan yang dihasilkan berubah-ubah, ini berarti kuantitas dan spektrum energi yang dihasilkan sinar-X berubah terhadap waktu. Jika pada foto rontgen digunakan tegangan 60 kV hingga 70 kV maka dari semua radiasi yang dikeluarkan tabung sinar-X yang terpakai dalam pembentukan citra hanya sedikit, sehingga untuk menghasilkan citra yang bagus diperlukan waktu penyinaran yang lebih lama. Hal ini menyebabkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien akan semakin besar.



Gambar 4.10 Hubungan Tegangan terhadap Waktu pada Generator Multi Fasa (Pesawat II)

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa generator multi fasa menghasilkan tegangan dengan amplitudo yang lebih kecil dibandingkan generator satu fasa . Jika foto rontgen dilakukan pada tegangan 60 kV hingga 70 kV maka hampir semua radiasi yang dikeluarkan tabung sinar-X dapat dimanfaatkan dalam proses pembentukan citra, sehingga waktu penyinaran lebih singkat dibandingkan dengan generator satu fasa dan dosis yang diterima pasien lebih sedikit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Secara umum hasil pengukuran karakteristik keluaran radiasi dari kedua pesawat sinar-X konvensional menunjukkan bahwa kedua pesawat masih layak untuk digunakan, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil pengukuran karakteristik pesawat sinar-X konvensional

Pengukuran	Batas Toleransi	Hasil Pengukuran	
		Pesawat I	Pesawat II
Akurasi tegangan	$\pm 10\%$	2,08%	9,73%
Akurasi waktu	$\pm 10\%$	0,41%	5,64%
Linieritas keluaran	$\leq 0,1$	0,02555	0,04686
Stabilitas tegangan, waktu, dan keluaran radiasi	$\leq 5\%$	Tegangan = 0,2504% Waktu = 0 % Dosis = 0,1179%	Tegangan = 0,31366% Waktu = 0,00033% Dosis = 0,40899%
Kualitas berkas	40kV \leq 1,3 mmAl 50 kV \leq 1,5 mmAl 60 kV \leq 1,8 mmAl 70 kV \leq 2,1 mmAl 80 kV \leq 2,3 mmAl 90 kV \leq 2,5 mmAl	1,5 mmAl pada 40 kV 1,93 mmAl pada 50 kV 2,36 mmAl pada 60 kV 2,79 mmAl pada 70 kV 3,19 mmAl pada 80 kV 3,6 mmAl pada 90 kV	1,42 mmAl pada 40 kV 1,78 mmAl pada 50 kV 2,12 mmAl pada 60 kV 2,54 mmAl pada 70 kV 2,93 mmAl pada 80 kV 3,27 mmAl pada 90 kV
Kebocoran tabung	1 mGy/jam pada jarak 100 cm	Anoda = 0,08435 mGy/jam-1m Katoda = 0,01516 mGy/jam-1m	Anoda = 0,0395 mGy/jam-1m Katoda = 0,0031 mGy/jam-1m

5.2 Saran

1. Kepada radiografer pesawat sinar-X konvensional hendaknya mengoptimalkan penggunaan pesawat sinar-X sesuai dengan karakteristiknya masing-masing sehingga dapat memberikan dosis radiasi seefisien mungkin kepada pasien.
2. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya menambah parameter uji kesesuaian dan kelurusan berkas sinar-X dengan cahaya kolimator, uji *focal spot*, dan kualitas citra pesawat sinar-X dalam menentukan karakteristik pesawat sinar-X.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Akhadi, M., 2000, *Dasar-dasar Proteksi Radiasi*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Beiser, A., 1992, *Konsep Fisika Modern Edisi Keempat*, Erlangga, Jakarta.
- Dasril, D.N ., 2010, *Compliance Test Pesawat Sinar-X Konvensional Merek Toshiba Radiografi Mode DRX-1603B di Rumahsakit Islam (RSI) Siti Rahmah Padang*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.
- Health Department of Western Australia, 2006, *Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing*, Radiation Safety Act 1975, Workbook 3, Major Radiographic Equipment, Radiological Council, Australia.
- Krane, K., 1992, *Fisika Modern*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sismar, 2006, *Karakterisasi Berkas Sinar Pesawat Radiodiagnostik Konvensional dan Modifikasi Berkas Untuk Optimasi Paparan Pesawat Pada Beberapa Rumah Sakit di Sumatra Barat*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.
- Sprawls, P., 1987, *The Physical Principles of Medical Imaging*, Aspen Publisher, Maryland.
- Susanti, L., 2007, *Implementasi Compliance Test Pada Beberapa Model Pesawat Radiodiagnostik Sinar-X Di Kota Padang*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang.
- Walpole, R., 1992. *Pengantar Statistika*. Edisi ketiga, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wardeni, H., 2005, *Karakterisasi Berkas Sinar Pesawat Radiodiagnostik Konvensional Fototoraks dan Modifikasi Berkas Untuk Optimasi Paparan Pesawat di RS DR. M. Djamil Padang*, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UA, Padang
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xtube.html>, diakses 30 April 2011
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xrayc.html>, diakses 30 April 2011