

Skripsi Fisika

**UJI AKURASI ALAT UKUR RADIASI PADA KASUS KEBOCORAN
TABUNG PESAWAT *MOBILE X-RAY* DI *BPFK MAKASSAR***

RISMA RANI

H211 13 005



**PROGRAM STUDI FISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2020



Optimization Software:
www.balesio.com

HALAMAN JUDUL

**UJI AKURASI ALAT UKUR RADIASI PADA KASUS KEBOCORAN
TABUNG PESAWAT MOBILE X- RAY DI BPFK MAKASSAR**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Pada

Program Studi Fisika Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

OLEH:

RISMA RANI

H211 13 005

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2020



Optimization Software:
www.balesio.com

HALAMAN PENGESAHAN

UJI AKURASI ALAT UKUR RADIASI PADA KASUS KEBOCORAN

TABUNG PESAWAT *MOBILE X-RAY* DI BPFK MAKASSAR

OLEH:

RISMA RANI

H211 13 005

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Makassar, Januari 2020

Disetujui oleh :

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc
NIP. 19630111 199002 1 001

Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc
19550105 197802 1 001



Optimization Software:
www.balesio.com

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini merupakan karya orisinal saya dan sepanjang pengetahuan saya dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya dimanapun, kecuali bagian yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil kerja saya sendiri dalam batas tertentu dibantu oleh pihak pembimbing dan teman-teman.

Penulis

Risma Rani



SARI BACAAN

Telah dilakukan penelitian tentang uji akurasi alat ukur radiasi pada kasus kebocoran tabung pesawat *mobile X-ray* di BPFK Makassar. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kebocoran tabung pesawat *mobile X-ray* dengan menggunakan Surveymeter dan Multimeter X-ray dengan memvariasikan jarak dan tegangan dari lima sisi tabung. Dari hasil kebocoran tabung pesawat *mobile X-ray* di BPFK Makassar dengan menggunakan Surveymeter pada jarak 1m dan 5 mA yaitu 0.19 mGy/jam (60 kVp), 0.04 mGy/jam (70 kVp) dan 0.36 mGy/jam (81 kVp). Sedangkan Multimeter X-ray dengan jarak 1m dan 5 mA yaitu 0.19 mGy/jam (60 kVp), 0.03 mGy/jam (70 kVp) dan 0.40 mGy/jam (81 kVp) maka nilai lolos uji sesuai batas toleransinya yaitu ≤ 1 mGy/jam atau 115 R/jam. Berdasarkan kedua alat yang digunakan untuk mengukur kebocoran tabung dari hasil uji kebocoran tabung bahwa pesawat *mobile X-ray* layak dipakai untuk pasien di BPFK Makassar.

Kata kunci: Pesawat *mobile X-ray*, Surveymeter, Multimeter X-ray, Uji kesesuaian, Uji kebocoran tabung.



ABSTRACT

Research on the accuracy of radiation measuring instruments has been conducted in the case of leakage of Mobile X-ray in BPFK Makassar. In the study it conducted measuring the leakage tube air Mobile X-ray by using Surveymeter and Multimeter X-ray by varying the distance and the voltage of the five sides of the tube. From the results leakage tube air Mobile X-ray in BPFK Makassar by using Surveymeter at a distance of 1 m and 5 mA is 0.19 mGy/h (60 kVp), 0.04 mGy/h (70 kVp) and 0.36 mGy/h (81 kVp). Where as the Multimeter X-ray with a distance of 1 m and 5 mA is 0.19 mGy/h (60 kVp), 0.03 mGy/h (70 kVp) and 0.40 mGy/h (81 kVp) then the value passes the test in accordance limits of tolerance is ≤ 1 mGy/h or 115 R/h. Based on both the tool that is used to measure the leakage tube of the results of the test leakage tubes that air Mobile X-ray feasible used for patients in BPFK Makassar.

Keywords : *X-ray mobile, Surveymeter, Multimeter X-ray, conformance test, tube leakage test.*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Uji Akurasi Alat Ukur Radiasi pada Kasus Kebocoran Tabung Pesawat *Mobile X-ray* di BPFK Makassar”. Shalawat dan salam senantiasa penulis kirimkan kepada baginda Rasulullah, Muhammad Shalallahu Alaihi Wasalla, keluarga, para sahabat dan para pengikutnya.

Dalam penyelesaian skripsi penulis mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini terjadi karena kelemahan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Alhamdulillah hambatan dapat teratasi tentu tidak lepas dari dukungan, doa, bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Kewajiban penulis dengan segala kerendahan hati untuk menghanturkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya terkhusus kepada kedua orang tua yang selalu berdoa dalam setiap nafasnya dan senantiasa memberi motivasi serta dukungan, dan untuk kakakku tercinta serta keluarga yang senantiasa member bantuann baik secara moril dan materi. Penulis juga ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof.Dr. Syamsir Dewang, M.Eng.Sc** dan **Bapak Prof.Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc** selaku pembimbing yang telah banyak memberikan waktunya untuk membimbing, mendukung, dan member saran-saran kepada

is dalam menyelesaikan skripsi ini.

k **Dr. Arifin,MT** selaku ketua Departemen Fisikka FMIPA UNHAS



3. **Bapak Prof.Dr.Dahlang Tahir, M.Si** selaku penasehat akademik yang telah memberi nasehat selama menempuh studi.
4. **Ibu Rostini Ali, S.Si., M.Si** dan **Ibu Khaerul Bariah, S.Si., M.Si** selaku pembimbing lapangan selama penelitian di BPFK Makassar yang telah banyak meluangkan waktunya dan memberi saran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
5. **Ibu Sri Dewi Astuti Ilyas, S.Si., M.Si** dan **Pak Drs. Bansawang BJ.,M.Si** sebagai dosen penguji skripsi fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran-saran demi kesempurnaan skripsi ini.
6. **Ibu Dra.Bidayatul Armynah, MT, Ibu Dr.Nurlaela Rauf, M.Sc, Ibu Nur Hasanah, S.Si., M.Si, Ibu Dr. Sri Suryani, DEA, Pak Eko Juarlin, S.Si., M.Si, Pak Bannu, S.Si., M.Si, Pak Paulus Lobo Gareso, M.Sc., Ph.D, Pak Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc dan Pak Prof.Dr.rer-nat Wira Bahari Nurdin** telah memberikan dukungan serta masukan dan saran-saran selama proses penyusunan skripsi.
7. Seluruh staf akademik Departemen Fisika dan Fakultas MIPA yang dengan senang hati membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
8. **Keluarga Mappa** dan **Keluarga Naco** telah banyak memberikan doa dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Satrial Sale, S.Si., M.Si dan seluruh staf Radioterapi di Rumah Unhas telah berbagi ilmunya selama PKL dan dukungan dalam menyusun skripsi.



10. Teman-teman **Angker 2013** yang telah banyak membantu, doa yang diberikan ke penulis serta dukungan selama penulis menyelesaikan studinya. Terima Kasih atas semua yang telah diberikan sosok kekeluargaan yang tidak pernah terduga didalam hati.
11. Teman-teman yang telah mewakili **Angker 2013** terima kasih sudah berjuang untuk penulis kembali menyelesaikan studinya.
12. Sahabat-Sahabat **FUR, 4G Friends, BFF** serta sahabatku lainnya yang tidak bisa disebut satu persatu karena didalam lubuk hati kalian telah mendoakan penulis untuk menyelesaikan studinya.
13. Keluarga **Himpunan Mahasiswa Fisika** terima kasih telah menjadikan penulis sebagai keluarga serta dukungan selama dalam menyelesaikan studinya.
14. Keluarga **KSR PMI Unhas** yang telah memberikan dukungannya serta menjadi keluarga kepada penulis.
15. Teman-teman **KKN Gel.93 Kelurahan Walennaec Kec. Sabbangparu Kab. Wajo** yang telah menjadi keluarga baru dan memberikan kenangan selama KKN.
16. Kakak-kakak dan adik-adik Fisika yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi penulis.
17. Semua pihak yang membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam seluruh proses perkuliahan di Universitas Hasanuddin.



menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah diharapkan. Akhir kata penulis

mengharapkan semoga penelitian ini dapat beerguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak lain yang membutuhkan.

Makassar, Januari 2020

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
SARI BACAAN.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II Tinjauan Pustaka	
II.1 Sinar-X	4
Produksi Sinar-X.....	4
Awat Sinar-X	10
Eymeter.....	17



II.3 Multimeter X-ray	18
II.4 Quality Control.....	19
BAB III Metode Penelitian	
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
III.2 Alat dan Bahan.....	23
III.3 Prosedur Penelitian	23
III.4 Bagan Alir Penelitian	25
BAB IV Hasil dan Penelitian	
IV.1 Hasil	26
IV.2 Pembahasan	36
BAB V PENUTUP	
V.1 Kesimpulan	38
V.2 Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN.....	42



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sinar-X <i>Bremsstrahlung</i>	6
Gambar 2.2 Sinar-X Karakteristik	7
Gambar 2.3 Proses terjadinya Sinar-X.....	8
Gambar 2.4 Blok Diagram Pesawat sinar-X.....	11
Gambar 2.5 Simulasi Pemeriksaan Rontgen.....	16
Gambar 2.6 Alat Ukur Radiasi Surveymeter	18
Gambar 2.7 <i>RaySafe Xi</i>	19
Gambar 3.1 Pengujian Kebocoran Wadah Tabung Sinar-X	24
Gambar 4.1 Grafik Nilai Laju Dosis terhadap Perubahan pada Sisi Depan Tabung	28
Gambar 4.2 Grafik Nilai Laju Dosis terhadap Perubahan pada Sisi Belakang Tabung	29
Gambar 4.3 Grafik Nilai Laju Dosis terhadap Perubahan pada Sisi Kiri Tabung	30
Gambar 4.4 Grafik Nilai Laju Dosis terhadap Perubahan pada Sisi Kanan Tabung.....	31
Gambar 4.5 Grafik Nilai Laju Dosis terhadap Perubahan pada Sisi Atas Tabung	32



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas toleransi pengujian pesawat sinar-X radiologi diagnostik	14
Tabel 4.1 Hasil pengukuran Kebocoran Tabung dengan variasi jarak	27
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Kebocoran Tabung dengan variasi tegangan.....	33
Tabel 4.3 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 60 kVp	34
Tabel 4.4 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 70 kVp	34
Tabel 4.5 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 81 kVp	34
Tabel 4.6 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 60 kVp	35
Tabel 4.7 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 70 kVp	35
Tabel 4.8 Nilai lolos uji pada surveymeter dengan tegangan 81 kVp	36



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil laju dosis pengukuran sisi tabung pada variasi jarak	43
Lampiran 2 Data hasil laju dosis Pengukuran sisi tabung pada variasi tegangan.....	46
Lampiran 3 Pengolahan data pengukuran Kebocoran tabung pesawat mobile X-ray	49
lampiran 4 Foto Alat dan Bahan yang digunakan.....	51



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pemanfaatan radiasi pengion dalam bidang radiodiagnostik untuk berbagai keperluan medik perlu memperhatikan dua aspek, yaitu resiko dan pemanfaatan yang dicapai. Menurut Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 15 tahun 2014 tentang Keselamatan Radiasi dalam produksi Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Interversional, Kecelakaan Radiasi adalah kejadian yang tidak direncanakan termasuk kesalahan operasi, kerusakan, atau kegagalan fungsi alat atau kejadian lain yang menimbulkan atau potensi dampak yang tidak dapat diabaikan dari aspek proteksi dan keselamatan radiasi. Dampak radiasi secara langsung dan tidak langsung dapat membahayakan jiwa, kesehatan dan harta benda yang akan dirasakan oleh radiographer dan masyarakat sekitar^[1,18].

Peraturan Pemerintah tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap pemanfaatan Radiasi Pengion perlu adanya proteksi radiasi untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Hal ini dapat melakukan pengukuran kebocoran tabung pada pesawat sinar-X^[18].

Untuk menjamin, ketelitian, akurasi dan keamanan dalam segi penggunaan radiasi pesawat sinar-X dilakukan prosedur kalibrasi tegangan tabung atau uji

secara teratur sesuai Peraturan Kepala (PERKA) BAPETEN No. 9 Tahun tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Interversional^[2].



Upaya penerapan standar keselamatan radiasi, pada tahun 1995-1999 *International Atomic Energy Agency* (IAEA) mengadakan proyek riset terpadu tentang proteksi radiasi dalam radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir di beberapa Negara Eropa Timur, kawasan Afrika dan Asia termasuk Indonesia. Tujuan dan riset tersebut adalah untuk menginisiasi program optimasi proteksi radiasi dengan pengenalan pelaksanaan jaminan mutu. Hasil riset terkoordinasi terangkum dalam IAEA-TECDOC-1423 tahun 2004 yang menunjukkan bahwa program jaminan mutu memberikan dampak positif pada tujuan pokok tindakan radiologi diagnostik, dan uji fungsi atau kinerja pesawat sinar-X menjadi salah satu komponen utamanya^[3].

Penelitian yang berhubungan dengan pengukuran kebocoran tabung pada pesawat sinar-X telah dilakukan oleh Purnomo (2010) dengan menggunakan alat dosimeter. Hasil dari penelitian uji kebocoran tabung pesawat sinar-X, diperoleh laju dosis $\leq 0,1$ R/jam pada 10 buah tabung pesawat sinar-X ini layak digunakan sedangkan laju dosis $> 0,1$ R/jam pada 8 buah tabung pesawat sinar-X lainnya terdapat kebocoran tabung sehingga pesawat sinar-X tersebut layak digunakan^[4]. Penelitian Setiawan (2017) dilakukan pengukuran paparan radiasi pesawat sinar-X di Instalasi Radiodiagnostik untuk proteksi paparan radiasi dengan menggunakan alat surveymeter digital. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa paparan tertinggi tabung sinar-X berada di atas tabung sebesar 0,153 mR/jam. Sedangkan paparan tertinggi di

an kerja ruang pesawat sinar-X berada di ruang CR sebesar 0,031 mR/jam^[1].

ntuk Keselamatan Radiasi dalam produksi Pesawat Sinar-X Radiologi

lk perlu melakukan pengujian peralatan kesehatan alat ukur radiasi. Alat



ukur yang dipakai dalam melakukan penelitian yaitu Surveymeter dan Multimeter X-ray. Surveymeter digunakan untuk mengukur intensitas radiasi dalam bentuk paparan radiasi atau dosis radiasi dilokasi pengukuran secara langsung. Sedangkan Multimeter X-ray digunakan untuk mengukur kebocoran atau radiasi yang tersebar tabung X-ray atau ruang pemeriksaan dan radiasi kebocoran.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada analisis nilai kebocoran tabung pesawat *mobile X-Ray* di BPFK Makassar dengan menggunakan alat ukur radiasi yaitu Surveymeter dan Multimeter X-ray.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Mengukur nilai kebocoran tabung pesawat mobile X-ray dengan Surveymeter dan Multimeter X-ray.
2. Menganalisis hasil pengukuran pada point untuk menentukan layak atau tidaknya pesawat mobile X-ray.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sinar-X

II.1.1 Produksi Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen seorang berkebangsaan Jerman pada tahun 1895. Penemuannya diilhami dari hasil percobaan sebelumnya antara lain J.J Thomson mengenai tabung katoda dan Heinrich Hertz tentang foto listrik. Kedua percobaan tersebut mengamati gerak elektron yang keluar dari katoda menuju ke anoda yang berada dalam tabung kaca yang hampa udara^[5].

Sinar-X adalah paparan gelombang elektromagnetik sejenis gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet tetapi dengan panjang gelombang yang lebih pendek. Panjang gelombang sinar-X hanya 1/1000 panjang gelombang cahaya yang kelihatan, sehingga memiliki daya tembus yang sangat besar^[6].

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan energi yang sangat tinggi. Radiasi gelombang elektromagnetik memiliki energi yang besarnya dirumuskan oleh Planck sebagai berikut^[7]:

$$E = h\nu \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan E adalah energi radiasi elektromagnetik (Joule), h adalah Konstanta Planck, nilainya $6,63 \times 10^{-34}$ (Joule detik) dan ν adalah frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz)^[7].



Peristiwa terjadinya sinar-X diawali dari percobaan Heinrich Hertz pada tahun 1887 dengan menggunakan tabung hampa yang berisi katoda dan anoda. Katoda dan anoda dihubungkan dengan sumber listrik E . Pada tegangan, E yang rendah tidak ada arus elektron dari katoda ke anoda yang dapat dilihat dari galvanometer. Pada saat katoda disinari gelombang pendek elektromagnetik ternyata dari katoda keluar elektron menuju anoda yang diamati dari galvanometer. Arus yang terbaca di Galvanometer adalah arus yang sangat kecil dalam order mikro ampere. Peristiwa di atas disebut dengan efek foto listrik. Kecuali disinari dengan gelombang pendek elektron dapat keluar dari katoda dengan cara dipanaskan sehingga terjadi emisi thermos. Jadi dengan cara dipanaskan atau diberi gelombang pendek elektromagnetik katoda dapat memancarkan elektron lebih banyak^[5].

Secara fisika sinar-X dibagi menjadi dua berdasarkan proses pembentukannya yaitu^[20]

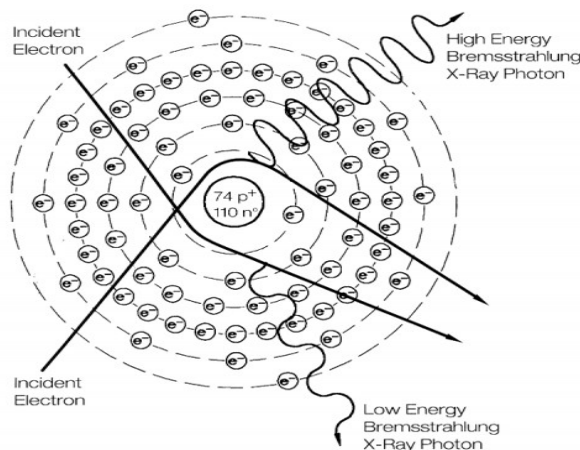
1. Sinar-X Bremstrahlung

Pada pesawat sinar-X, metode terpenting dalam proses produksi sinar-X yaitu proses yang dikenal dengan *bremstrahlung*, yaitu istilah dalam bahasa Jerman yang berarti radiasi pengeraman atau *braking radiation*^[6].

Sinar-X dapat diproduksi dengan jalan menembakan target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung vakum sinar katoda. Elektron dihasilkan dari *filament* yang berfungsi sebagai katoda dan anoda sebagai target. Elektron *filament* dipercepat gerakannya menggunakan tegangan listrik berorde 10^2 - 10^6



Volt. Elektron yang bergerak sangat cepat itu akhirnya ditumbukkan ke target logam bernomor atom tinggi dan suhu leleh yang tinggi. Ketika elektron berenergi tinggi menabrak target logam, maka sinar-X akan terpancar dari permukaan logam tersebut. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini disebut Sinar-X *Bremsstrahlung*^[2].



Gambar 2.1 Sinar-X *Bremsstrahlung*
 Sumber : Sujatno,STTN-BATAN (2008)

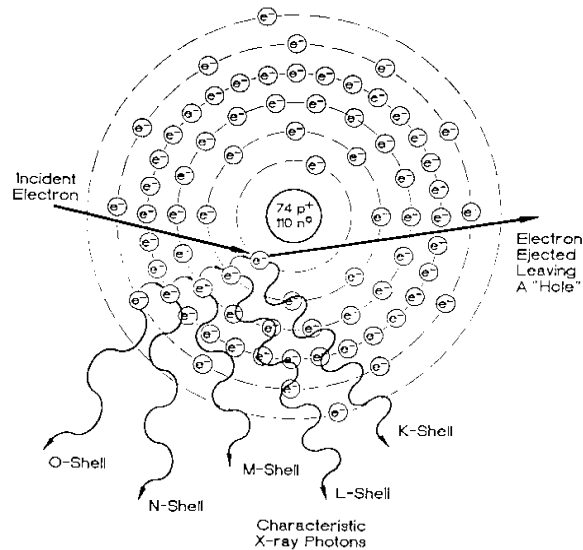
Sinar-X *Bremsstrahlung* terjadi karena adanya elektron yang mendekati atom target (anoda) dan berinteraksi dengan atom bahan anoda, tepatnya dengan elektron luar atom tersebut. Elektron mengalami perlambatan sehingga mengeluarkan radiasi. Spektrum radiasi yang dihasilkan bersifat kontinyu^[8].

2. Sinar-X karakteristik

Sinar-X juga dapat terbentuk melalui transisi elektron dari tingkat energi tinggi ke tingkat energi rendah. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini dinamakan karakteristik. Radiasi yang dihasilkan dari proses ini merupakan radiasi



hamburan yang energinya tidak tetap, sehingga spektrum energinya berupa spektrum garis diskrit^[6].

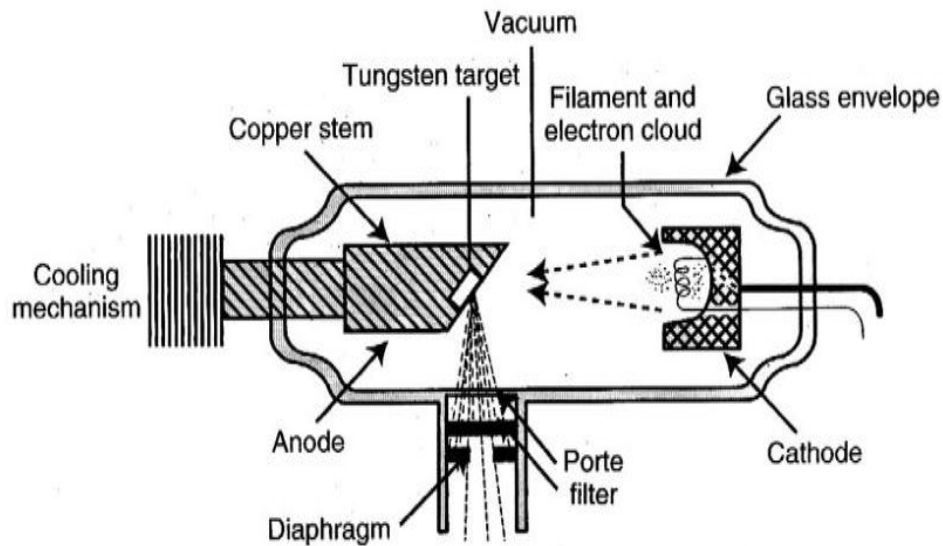


Gambar 2.2 Sinar-X Karakteristik
 Sumber : Sujatno,STTN-BATAN (2008)

Pada prinsipnya sinar-X merupakan hasil konversi energi kinetik (KE) yang diubah kedalam radiasi elektromagnetik. Produksi sinar-X dihasilkan dalam suatu tabung berisi suatu perlengkapan yang diperlukan untuk menghasilkan sinar-X yaitu sumber elektron bebas (katoda), bahan penghenti atau sasaran (anoda) dan ruang hampa. Katoda mengalami thermionic emison (terbentuknya awan elektron akibat katoda dipanasi dengan tegangan tertentu yang menyebabkan terkumpulnya elektron-elektron bebas). Sedangkan anoda bermuatan positif berfungsi sebagai target

Pada Gambar 2.3 proses terjadinya sinar-X. Foton energi tinggi dihasilkan oleh tabung sinar-X. Foton energi tersebut diserap oleh elektron atom. Foton ini dipercepat dan dipaksa untuk meninggalkan atom^[9].





Gambar 2.3 Proses terjadinya sinar-X
 Sumber : Wadianto, Jurusan Teknik Elektromedik (2008)

Lubang yang diciptakan didalam struktur elektron dipenuhi dari elektron energi yang lebih tinggi. Timbul perbedaan energi antara posisi elektron pergi dan posisi elektron mengisi. Kejadian ini disebut *X-Ray Ifluorescence*^[9].

Sinar-X dengan energi rendah pada umumnya digunakan sebagai radiodiagnostik, sedangkan sinar-X dengan energi rendah umumnya dimanfaatkan untuk radioterapi. Pemanfaatan sinar-X dengan energi rendah dibidang kedokteran umumnya digunakan untuk radiodiagnostik dalam pembuatan foto-foto radiografi konvensional seperti pembuatan foto-foto radiografi kepala, toraks, abdomen dan lain sebagainya^[10].

Perkas sinar-X dalam penyebarannya dari sumber melalui suatu garis yang ke segala arah kecuali dihentikan oleh bahan penyerap sinar-X. Oleh itu, tabung sinar-X ditutup dalam suatu rumah tabung logam yang mampu



menghentikan sebagian besar radiasi sinar-X, hanya sinar-X yang berguna dibiarkan keluar dari tabung melalui sebuah jendela atau window. Sinar-X adalah foton-foton yang mempunyai energi tinggi, karena elektron memancarkan energi maka energi kinetik elektron akan berkurang dan akhirnya akan kehilangan seluruh energi kinetiknya^[5].

Penyerapan sinar-X oleh suatu bahan tergantung pada tiga faktor sebagai berikut^[5].

- a. Panjang gelombang sinar-X
- b. Susunan objek yang terdapat pada alur berkas sinar-X
- c. Ketebalan dan kerapatan objek

Penyerapan sinar-X oleh tubuh manusia pada proses foto *rontgen* dapat dijelaskan sebagai berikut. Tubuh manusia dibentuk oleh unsur-unsur yang sangat kompleks. Oleh sebab itu, penyerapan sinar-X oleh tubuh pada proses *rontgen* tidak sama, misalnya tulang akan lebih banyak menyerap sinar-X dibanding dengan otot atau daging. Bagian tulang yang sakit atau daging akan lebih besar menyerap sinar-X dibanding kondisi normal. Usia juga akan menjadi penyebab perbedaan penyerapan sinar-X. Tulang orang tua yang telah kekurangan kalsium, maka penyerapan sinar-X akan berkurang dibanding tulang anak muda^[5].

Sinar-X memiliki sifat yang sangat unik, diantaranya: mempunyai daya

yang sangat tinggi, mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek, efek fotografik artinya sinar-X dapat menghitamkan emulsi film (emulsi amide) setelah proses secara kimiawi (dibangkitkan) di kamar gelap, dapat



mengionisasi materi yang dilaluinya, dapat menimbulkan efek biologi dan sinar-X mempunyai berkas sinar lurus dan tidak dapat dibelokkan oleh medan magnet^[7]. Karena sifat itulah, sinar-X sering diaplikasikan untuk dunia kedokteran sebagai alat untuk diagnosis penyakit. Namun, selain manfaatnya yang sangat besar, sinar-X juga berpotensi membahayakan pasien karena dapat menginduksi kanker. Oleh karena itu dalam penggunaannya, penggunaan sinar-X harus digunakan seoptimal mungkin, yaitu dosis serendah-rendahnya dengan kualitas citra radiographi yang dapat diterima^[11].

II.1.2 Pesawat Sinar-X

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang menghasilkan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi (sinar-X) untuk digunakan dalam diagnostik atau terapi. Sinar-X berenergi tinggi yang mampu menembus objek dan membentuk gambaran pada kaset radiografi, sedangkan yang energinya rendah akan diserap oleh bahan objek. Besarnya penyerapan oleh bahan tergantung dari panjang gelombang sinar-X, susunan objek yang terdapat pada alur berkas sinar-X dan ketebalan serta kerapatan bahan^[12].

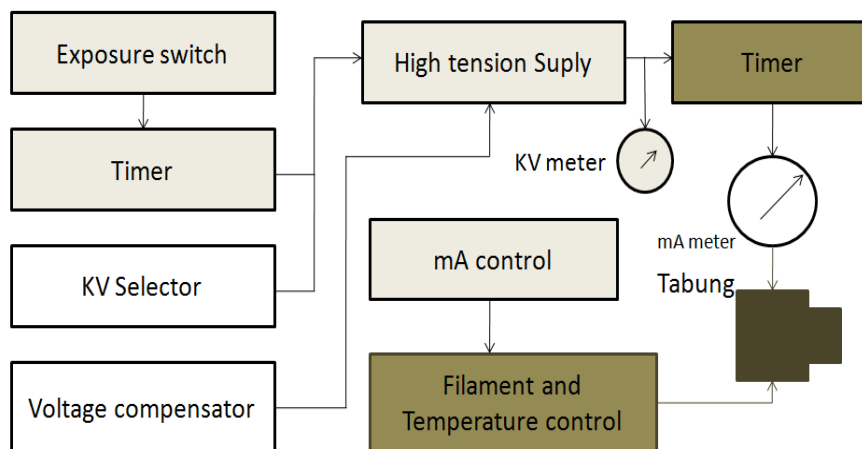
Pesawat sinar-X terdiri dari sistem sinar-X dan subsistem sinar-X atau komponen. Sistem sinar-X adalah seperangkat komponen untuk menghasilkan radiasi dengan cara terkendali, meliputi sekurang-kurangnya generator tegangan tinggi, panel kontrol, tabung sinar-X, alat pembatas berkas dan peralatan penunjang.

Subsistem berarti setiap kombinasi dari dua atau lebih komponen sistem. Tabung pesawat sinar-X terdiri dari dua struktur yaitu struktur eksternal dan internal. Struktur eksternal terdiri dari tiga bagian yaitu struktur pendukung,



wadah tabung dan generator. Sedangkan struktur internal terdiri dari katoda dan anoda^[2].

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang dipakai untuk memproduksi sinar-X. Sinar-X dibangkitkan dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung hampa udara. Elektron dihasilkan dari *filament* yang dipanaskan dimana *filament* juga sebagai katoda. Pada saat arus listrik dari sumber tegangan tinggi dihidupkan, *filament* akan mengalami pemanasan, sehingga banyak elektron dari bahan *filament* yang keluar di permukaan. Selanjutnya antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi maka elektron akan bergerak cepat dengan energi kinetik menuju anoda. Terjadilah tumbukan antara target (anoda) dengan elektron maka timbullah sinar-X^[13]. Sistem pesawat sinar-X secara umum adalah seperti terlihat pada gambar 2.4



Gambar 2.4 Blok diagram Pesawat sinar-X
Sumber : Suyatno, PRPN-BATAN (2010)



Dari gambar 2.4 terlihat ada *exposure switch* yang merupakan bagian dari pesawat sinar-X dari satu rangkaian *switch* yang menghubungkan antara tegangan rendah dan tegangan tinggi (HV). Jika *switch* ditekan maka akan ada aliran tegangan dari autotransformator ke HV, sehingga timbul tegangan tinggi yang akan menjadi tegangan kerja pada tabung sinar-X. Pada pesawat sinar-X konvensional *switch* ini menggunakan lamanya pencitraan berlangsung. Dewasa ini biasanya menggunakan sistem mekanik, jadi waktu yang dihasilkan kurang akurat. *KV selector* berfungsi untuk mengatur tegangan tinggi, untuk pesawat sinar-X konvensional masih secara manual dan analog. Rangkaian *mA control* digunakan untuk mengatur dan mengontrol arus *filament*. Tabung sinar-X merupakan generator penghasil sinar-X^[11].

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang dipakai untuk memproduksi sinar-X. Untuk dapat menghasilkan suatu pencitraan sinar-X diperlukan beberapa instrumen sebagai berikut^[11]:

1. Tabung sinar-X

Tabung sinar-X berisi *filament* yang juga sebagai katoda dan berisi anoda. *Filament* terbuat dari tungsten, sedangkan anoda terbuat dari logam anoda (Cu, Fe atau Ni). Anoda biasanya dibuat berputar supaya permukaannya tidak lekas rusak yang disebabkan tumbukan elektron.

2. Trafo Tegangan Tinggi

tegangan tinggi berfungsi pelipat tegangan rendah dari sumber menjadi tegangan tinggi antara 30 kV sampai 100 kV. Pada trafo tegangan tinggi diberi



minyak sebagai media pendingin. Trafo tegangan tinggi berfungsi untuk mempercepat elektron dalam tabung.

3. Instrumen Kontrol

Sistem kontrol berfungsi sebagai pengatur parameter pada pengoperasian pesawat sinar-X. Instrumen kontrol terbagi menjadi lima modul yaitu^[1]:

- a. Modul *Power Suplay* (Catu daya DC)
- b. Modul pengaturan tegangan (kV)
- c. Modul pengatur arus (mA)
- d. Modul pengatur waktu pencintraan (S)
- e. Modul kendali sistem
- f. Catu daya AC dari sumber PLN

Pengujian tersebut termasuk dalam program jaminan mutu radiologi diagnostik. Dalam program jaminan mutu radiologi diagnostik terdapat beberapa pengujian yang dilakukan yaitu^[7]:

- a. Uji penerimaan (*Acceptance Test*) yang dilakukan pada pesawat yang baru dipasang untuk verifikasi terhadap spesifikasi teknis dan untuk menetapkan batasan kinerja alat.
- b. Uji kesesuaian (*Compliance Test*) yang dilakukan secara periodik pada pesawat sinar-X yang sudah digunakan untuk pelayanan. Ada beberapa jenis pengujian

termasuk dalam uji kesesuaian, yaitu^[7]:

Uji monitoring untuk menguji beberapa parameter vital yang biasa digunakan dalam pelayanan. Uji ini dilakukan frekuensi 2-3 bulan sekali.



2. Uji tahunan (*Annual test*) untuk menguji seluruh parameter vital pesawat sinar-X, frekuensi pengujian ini adalah 1-2 tahun sekali.
3. Uji pesawat sinar-X setelah diperbaiki atau terjadi penggantian ulang.

Definisi kesesuaian (*Compliance*) adalah kesesuaian atau kesesuaian terhadap peraturan perundangan dan pertauran pelaksanaannya. Dalam hal pesawat sinar-X adalah kesesuaian atau kesesuaian terhadap peraturan keselamatan radiasi dan peraturan pelaksanaannya untuk peralatan pesawat sinar-X. Tujuan dari uji kesesuaian atau kesesuaian pesawat sinar-X adalah terjaminnya keselamatan radiasi dalam pemanfaatan pesawat sinar-X^[7].

Table 2.1 Batas toleransi pengujian pesawat sinar-X radiologi diagnostic (*British Colombia*)

No	Parameter Pengujian	Batas Toleransi
1.	Akurasi tegangan	$(\text{kV panel} - \text{kV terukur}) / \text{kV panel} \leq 10\%$
2.	Akurasi waktu	$(\text{kV panel} - \text{kV terukur}) / \text{kV panel} \leq 10\%$
3.	Linieritas output	Koefisien linieritas $\frac{ X1 - X2 }{(X1 + X2)} \leq 0,1$ Dimana X1 dan X2 sensitifitas paparan (mGy/mAs) dari dua pengukuran berturutan
4.	Kedapatulangan kV, waktu dan Output	Koefisien variasi (c) $\leq 5\%$ $C = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2}$
5.	Kualitas berkas (HVL)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesawat diagnostic konvensional 70 kV $\geq 2,1$ mm Al dan 80 kV $\geq 2,3$ mm Al. 2. Pesawat <i>dental</i> : 50 kV $\geq 1,5$ mm Al dan 60 kV $\geq 1,8$



		mm Al 3. Mammografi (kVp/100) ≤ HVL ≤ (kVp/100+c) dengan c=0,12 untuk kombinasi target/filter Mo/Mo
6.	Kesesuaian dan kelurusan berkas	1. Perbedaan ukuran berkas cahaya dan berkas sinar-X ≤ 2% SID 2. Akurasi dimensi bidang sinar-X ± 2% SID 3. Perbedaan titik pusat bidang sinar-X dengan titik pusat berkas cahaya ≤ 2% SID
7.	Kebocoran tabung	≤ 1 mGy/jam atau 115 R/jam pada jarak 1 meter dari fokal spot; kecuali pesawat sinar-X <i>dental</i> ≤ 0,25 mGy/jam atau 28,5 mR/jam pada jarak 1 meter fokal spot
8.	Dosis pasien	Sesuai panduan BSS-115

Sumber : Hastuti, P2STPFR-BAPETEN (2009)

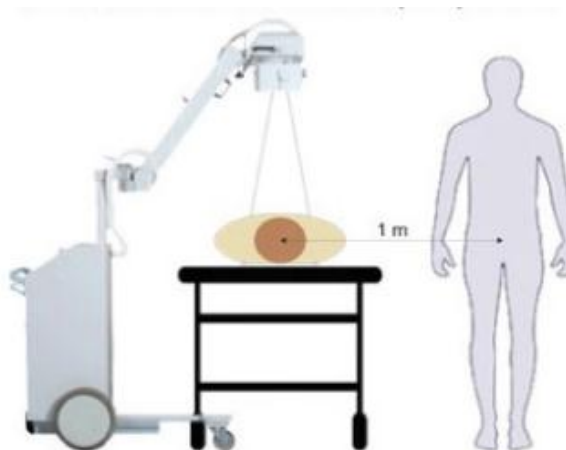
Terdapat dua pengaturan pada pesawat sinar-X yaitu pengaturan arus *filament* (mA) dan pengaturan tegangan antara anoda dan katoda (kV). Pengaturan arus mA akan menyebabkan perubahan jumlah elektron yang dihasilkan *filament* dan intensitas berkas elektron sehingga mempengaruhi intensitas sinar-X. Pengaturan tegangan (kV) akan menyebabkan perubahan gaya tarik anoda terhadap elektron sehingga kecepatan elektron menuju target akan berubah. Semakin besar (kV) akan menghasilkan energi dan daya tembus yang semakin besar. Kualitas radiografi adalah kemampuan radiografi dalam memberikan informasi yang jelas mengenai objek yang diperiksa. Kualitas radiografi ditentukan oleh beberapa komponen, yaitu densitas dan kontras.

...n pada citra dapat berupa *blur*, *artefak* dan *noise* ^[8].

Mobile X-Ray adalah salah satu tipe alat pesawat sinar-X yang berfungsi ...ndiagnosi penyakit pada organ tubuh bagian dalam dengan bantuan sinar x



dengan pembangkit tegangan tinggi. *Mobile X-ray* unit adalah jenis alat roentgen yang mampu bergerak dan mudah dipindahkan kemanapun karena memiliki roda dan tiang tabung yang bisa dilipat sehingga sangat mungkin bisa dimasukkan ke dalam lift untuk dipindahkan. Yang harus diutamakan dalam penggunaan alat *roentgen mobile* adalah pelindung radiasi. Penggunaan alat *rontgen mobile* diperlukan hanya untuk pasien yang sama sekali tidak dapat dipindahkan dari ruang perawatan untuk melakukan foto *rontgen*^[14]. Untuk pemeriksaan rontgen melakukan simulasi terdiri dari memproduksi kondisi teknis untuk pemeriksaan anteroposterior dada (AP) dalam posisi terlentang dan semi terlentang serta untuk proyeksi tangensial perut, menggunakan phantom antropomorfik tubuh penuh dan detektor sinar-X pada gambar 2.5. Untuk jarak diatas 1 m, batas dosis nasional u/ pekerja yang terpapar tidak terlampaui (12 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$), tetapi untuk anggota masyarakat melebihi batas (2 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$)^[21].



Gambar 2.5 Simulasi pemeriksaan rontgen
Sumber : Abrantes, Healthmanagement.org (2017)



Menurut Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 15 Tahun 2014, Kebocoran radiasi adalah radiasi yang keluar dari tabung Pesawat Sinar-X selain berkas utama^[15]. Kebocoran radiasi tabung pesawat sinar-X dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2^[19].

$$Leakage (L) = X \left(\frac{kV \max}{kVset} \right)^2 \frac{mA_{cont}}{mAs_{set}} \frac{1}{1000} \frac{mGy}{jam} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

X = Laju dosis terukur (mGy/jam)

$kV \max$ = Tegangan alat (kVp)

$kVset$ = Tegangan saat di eksposi dilakukan (kVp)

mA_{cont} = Arus kontinu alat (mA)

mAs_{set} = Pengaturan kuat arus waktu saat eksposi dilakukan

Tingkat kebocoran radiasi di segala arah tidak melebihi batas nilai Kebocoran Radiasi sebesar 1 mGy dalam waktu 1 jam pada jarak 1 m dari posisi fokus dengan kondisi kuat arus kontinyu maksimum pada kVp maksimum. Batas nilai kebocoran tidak berlaku untuk Pesawat sinar-X mammografi dan Pesawat Sinar-X gigi intra-oral^[15].

II.2 Surveymeter

Surveymeter digunakan untuk mengukur intensitas radiasi, dalam bentuk paparan atau dosis radiasi di lokasi pengukuran secara langsung. Surveymeter lebih

an untuk mengukur radiasi eksternal seperti sinar gamma, sinar-X dan selain itu surveymeter juga dapat mengukur radiasi alfa dan beta^[11].



Surveymeter digunakan untuk mengukur kebocoran radiasi dan di tempatkan pada setiap posisi yang berbeda (sisi kiri, sisi kanan, sisi, depan, sisi belakang dan sisi atas) pada tabung pesawat sinar-X ^[20].



Gambar 2.6 Alat ukur radiasi Surveymeter
Sumber :www.kashelara.com (2013)

II.3 Multimeter X-ray (*RaySafe Xi*)

Ray safe Xi terdiri dari unit dasar dan beberapa detektor eksternal yang diukur yaitu *radiografi/fluoroskopi (R/F)*, *Mamografi (MAM)*, pada sistem AEC atau ABC (Transparan), *Computed Tomography (CT)*, cahaya sekitar, cahaya yang dipancarkan dan radiasi tingkat rendah (*Survey*). Detektor R/F memiliki dua sensor yaitu R/F laju dosis tinggi dirancang sederhana untuk pengukuran laju dosis tinggi yang biasanya dihasilkan bayangan antara detektor dan sumber sinar-X. R/F dirancang untuk pengukuran laju dosis rendah yang biasanya dihasilkan dengan *phantom* antara

dan sumber sinar-X. Sensor *mamografi* digunakan untuk laju dosis rendah dan dosis tinggi dalam aplikasi mamografi. Detektor transparan adalah detektor yang digunakan dengan jejak radiologis yang sangat kecil. Yang dimaksud untuk aplikasi



dimana detektor R/F akan mempengaruhi kontrol eksposur otomatis pada peralatan sinar-X dan berfungsi sebagai pelengkap detektor R/F. Detektor transparan dirancang untuk meniru respon detektor ruang ion pancake karena tidak memiliki perlindungan hamburan balik. Detektor CT adalah ruang ionisasi yang dirancang untuk mengukur dosis CT untuk aplikasi seperti DLP dan *Computed Tomography* Indeks Dosis. Detektor cahaya dirancang untuk mengukur *luminance* pada monitor LCD dan CRT serta kotak cahaya dan pencahayaan untuk aplikasi sinar-X diagnostik. Detektor *survey* dirancang untuk mengukur kebocoran atau radiasi yang tersebar pada tabung X-ray atau di ruang pemeriksaan dan radiasi kebocoran^[17].



Gambar 2.7 *RaySafe Xi*
Sumber : *Unfors Ray Safe* (2013)

II.4 Quality Control

Quality Control (QC) merupakan program yang dilakukan untuk memonitor parameter-parameter yang berhubungan dengan teknik pemeriksaan dengan peralatan sinar-X agar tetap konsisten sesuai dengan menggunakan



peralatan sinar-X agar tetap konsisten sesuai dengan kondisi yang diinginkan, aman dan diperbolehkan. Program *Quality Control* dilakukan dengan pengujian fungsi alat rontgen (compliance test). Adapun aspeknya meliputi^[14]:

1. Tegangan Tabung

Nilai tegangan tabung (kVp) adalah nilai selalu dipilih oleh operator radiologi (radiographer) untuk setiap pemeriksaan nilai tegangan tabung yang kita pilih menentukan besarnya energi dan daya tembus sinar-X, oleh sebab itu generator sinar-X harus terkalibrasi dengan baik. Metode pengukuran ini tegangan tabung sinar-x dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu *invasive* dan *non-invasive measurement*.

2. Linieritas paparan arus tabung sinar-X

Linieritas paparan (*exposure linearity*) adalah kemampuan alat radiografi untuk menghasilkan keluaran radiasi yang konstan dari berbagai macam kombinasi arus tabung sinar-X (mA) dan waktu paparan sinar-X. Linieritas paparan harus dalam toleransi $\pm 10\%$ untuk masing-masing pasangan waktu paparan dengan mA yang ditentukan. Linieritas paparan di ukur dengan dosimeter radiasi dengan berbagai macam pasangan nilai waktu paparan dan mA. Nilai arus tabung sinar-X berpengaruh terhadap nilai intensitas sinar-X. Intensitas sinar-X pada hasil citra foto *roentgen* mempengaruhi nilai kehitaman pada film

(kehitaman). Selain berpengaruh terhadap nilai intensitas sinar-X yang keluar dari alat, nilai arus tabung yang dipilih juga sangat berpengaruh terhadap penerimaan radiasi pasien.



3. Ketetapan waktu pemaparan sinar-X

Waktu pemaparan merupakan nilai yang harus dipilih operator radiologi (radiographer) untuk setiap pemeriksaan. Parameter ini akan menentukan dosis radiasi pasien dan densitas optik dari gambar yang dihasilkan. Metode pengukuran waktu paparan : *Spinning Top* untuk generator satu fasa dan 3 fasa/frekuensi tinggi. Kalibrasi waktu paparan sebaiknya dapat dilakukan 1 tahun sekali (minimal) atau saat ada penggantian komponen pada pembangkitan sinar-X. toleransi waktu paparan terukur harus dalam batas $\pm 10\%$ dari nilai yang tampil pada display untuk waktu paparan lebih besar dari 10 ms.

4. Kebocoran radiasi tabung sinar-X

Pemeriksaan kebocoran radiasi tabung sinar-X ini untuk menentukan area dan nilai kebocoran radiasi yang terjadi pada rumah tabung sinar-X. Uji kebocoran ini juga perlu dikerjakan jika telah dilakukan perawatan atau perbaikan terhadap rumah tabung sinar-X.

Pengujian dilakukan dengan prosedur setelah warm up alat sinar-X dilakukan dan posisi shutter kolimator dalam keadaan tertutup. Posisikan *Ionization Chamber* sebagaimana gambar di atas guna pengukuran nilai paparan radiasi. Melakukan eksposi dengan pengaturan tegangan tabung ± 10 kVp dari kVp maksimum yang ada pada pesawat dengan pengaturan arus tabung dan waktu ekspose (*second*)

± 50 mAs.

rasi pembentuk luas lapangan penyinaran



Pemeriksaan pembentuk luas lapangan penyinaran (kolimasi) tabung sinar-X dapat dilakukan untuk menentukan : ketelitian arah berkas sinar- X dengan berkas cahaya, pusat berkas cahaya, dan kalibrasi ukuran lapangan. Ketiganya dapat diperiksa secara simultan dengan menggunakan film. Bila pada film, cahaya penunjukan lapangan tidak sesuai dengan lapangan sinar-X, pergeseran sekitar 0,5 cm masih dalam batas toleransi. Ketidak sesuaian penunjuk lapangan dengan ukuran berkas sinar-X mengakibatkan kesalahan pada pembuatan radiografi, citra organ yang dimaksud dapat terpotong sedangkan kemungkinan citra organ yang tidak diharapkan dapat tampak pada film. Untuk menghindari kesalahan, pada umumnya pemeriksaan menggunakan lapangan radiasi maksimum, yang efeknya meningkatkan dosis yang diterima pasien.

6. Keluaran radiasi

Pengukuran keluaran radiasi ini dengan mengatur luas lapangan penyinaran sesuai luas detektor pada alat pen dosimeter yakni 2 x 2 cm. Atur faktor eksposi (kVp, mA,s) dan fokus film distance (FFD) yang lazim digunakan pada pemeriksaan radiologi. Lakukan dua tahap pengujian yaitu memilih mA dan s yang berbeda, namun menghasilkan mAs yang sama.

