

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.2 PESAWAT SINAR-X

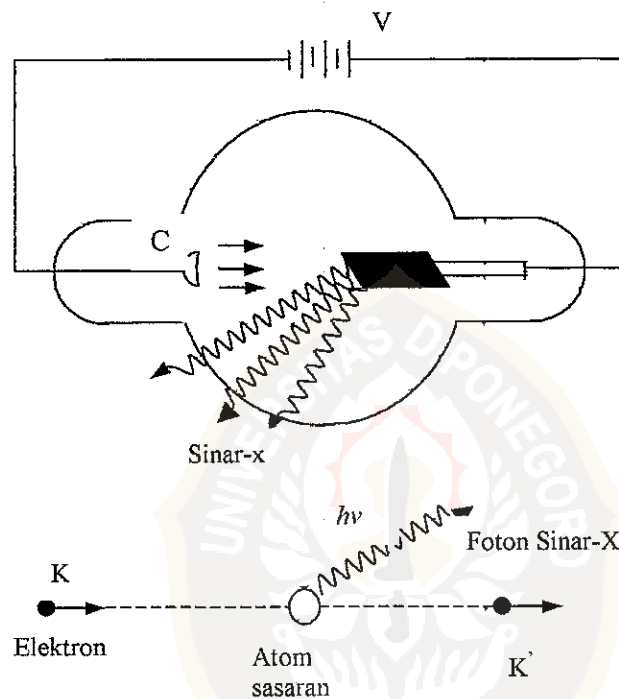
Sinar-X dapat terbentuk apabila zarah ringan bermuatan yang bergerak misalnya elektron, mengalami perlambatan misalnya oleh gaya inti atom. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini disebut sinar-X bremsstrahlung. Sinar-X bremsstrahlung dapat dihasilkan melalui pesawat sinar-X atau pemercepat zarah. Pada dasarnya pesawat ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu tabung, sumber tegangan tinggi yang mecatu tegangan listrik pada kedua elektrode dan unit pengatur. Bagian pesawat sinar-x yang menjadi sumber radiasi ialah tabung. Tabung biasanya terbuat dari bahan gelas yang didalamnya terdapat filamen yang bertindak sebagai katode, dan sasaran yang bertindak sebagai anoda. Tabung pesawat sinar-X dibuat hampa udara agar elektron yang berasal dari filamen tidak terhalang oleh molekul dalam perjalanannya menuju ke anoda (Wiriyosimin, 2000). Tabung sinar-X dapat dilihat pada gambar 1.1.

Berdasarkan gambar 1.1 elektron dari katoda dipercepat menuju anoda melalui beda potensial V sesuai dengan persamaan:

$$qV = \frac{1}{2}mv^2$$
$$V = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{q} \tag{2.1}$$

Dengan q adalah muatan ($1,6 \times 10^{-19}$ C), V adalah beda potensial dan m adalah massa elektron ($9,11 \times 10^{-31}$ kg).

Ketika sebuah elektron menumbuk suatu atom sasaran dari anoda, elektron tersebut akan mengalami perlambatan, dengan memancarkan sebuah foton sinar-X (Van der Plaats, 1989).



Gambar 1. 1. Tabung pesawat sinar-X dan proses bremsstrahlung

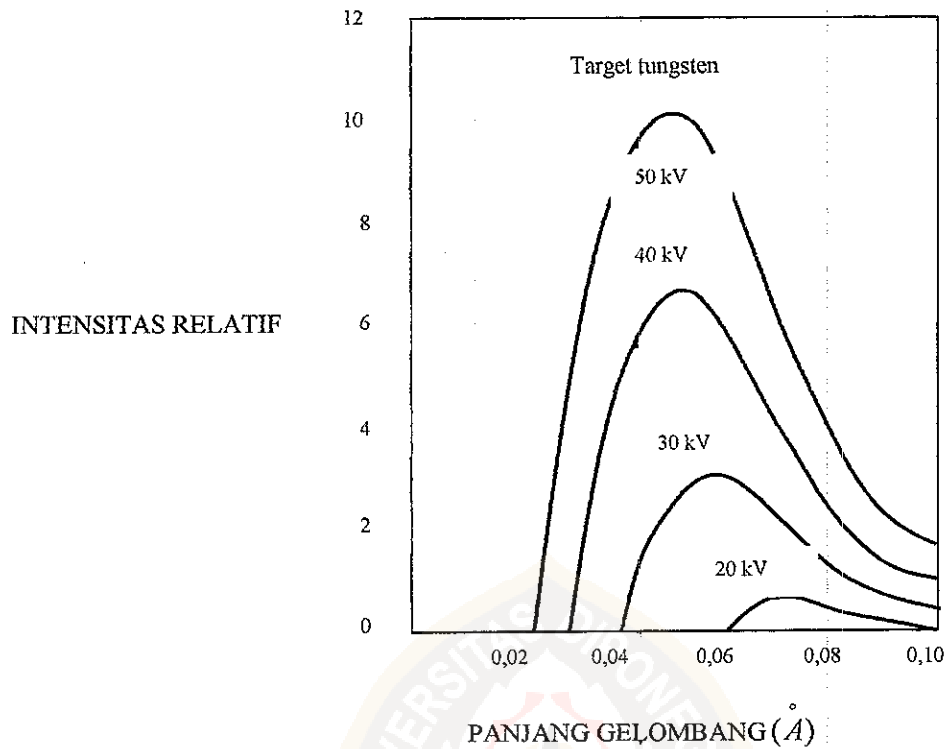
2.1.1 Produksi Sinar-X

Pancaran elektron terjadi karena adanya perbedaan tegangan tinggi antara katoda dengan anoda. Pancaran elektron dengan kecepatan yang tinggi dari katoda menuju anoda dan melalui ruangan yang dihampakan, maka elektron-elektron dapat langsung menumbuk lempeng target. Tumbukan antara elektron dengan target menghasilkan sinar-X. Selanjutnya sinar-X yang dihasilkan tersebut dikumpulkan dan difokuskan sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki. Sinar-X mempunyai panjang gelombang pendek berarti mempunyai energi tinggi, sesuai dengan persamaan berikut (Beiser, 1986):

$$E = h\nu_{maks} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad (2.2)$$

dengan h adalah konstanta Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J.s), c adalah kecepatan cahaya (3×10^8 m/s), ν_{maks} adalah frekuensi dan λ adalah Panjang gelombang (\AA)

Fungsi kerja dapat diabaikan dan menafsirkan batas panjang gelombang terkecil bersesuaian dengan seluruh energi elektron yang datang diberikan pada foton sebesar $h\nu_{maks}$. Karena fungsi kerja hanya beberapa elektronvolt sedangkan potensial pemercepat dalam tabung sinar-X biasanya puluhan sampai ratusan ribu volt (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Spektrum sinar-X pada berbagai potensial
(Van der Plaats, 1971).

2.1.2 Kualitas Radiasi

Kualitas radiasi sinar-X tergantung pada tegangan pembangkit (V), filter dan jarak penyinaran. Kualitas berkas sinar yang keluar berubah dengan berubahnya tegangan yang digunakan.

Keluaran energi pada pesawat sinar-X di pengaruhi oleh (Bushong, 1988):

- a. Tegangan tabung yang merupakan beda potensial antara katoda dan anoda di dalam tabung yang diperlukan untuk memindahkan satu satuan muatan, yaitu

untuk menarik elektron dari filamen ke permukaan target yang tertanam dalam anoda. Intensitas sinar-X kira-kira sebanding dengan kuadrat beda potensialnya, sehingga bila beda potensial dinaikkan dua kali lipat, maka intensitas sinar-X akan bertambah empat kali lebih banyak. Hubungan antara beda potensial dengan intensitas dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \quad (2.3)$$

dengan I adalah intensitas sinar-X (Watt/m²) dan V adalah beda potensial.

Semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan akan dihasilkan sinar-X dengan panjang gelombang lebih pendek sehingga memiliki daya tembus lebih besar. Penambahan tegangan tabung juga akan menambah jumlah pancaran radiasi dari target atau meningkatkan intensitas radiasi yang dipancarkan (Chesney, 1980). Pemilihan tegangan (V) yang terlalu rendah akan menyebabkan penyinaran yang diberikan tidak mampu menghasilkan densitas pada film, sedangkan pemilihan tegangan yang terlalu tinggi akan menimbulkan gambar film yang buruk sehingga informasi yang diperlukan hilang (kabur).

Tegangan (V) antara anoda dengan katoda menunjukkan kecepatan dari elektron-elektron, semakin besar kecepatan elektron menumbuk anoda maka semakin besar pula energi yang terkonversi ke dalam energi X-ray (Meredith, 1977).

$$Exposi = \frac{it.(V)^2}{d^2} \quad (2.4)$$

dengan i adalah perkalian arus listrik dan t adalah waktu penyinaran, V adalah tegangan tabung sinar-X dan d adalah jarak target terhadap sumber radiasi (cm). Penggunaan tegangan tinggi (V) menentukan kecepatan yang paling besar dari elektron-elektron, hubungan antara panjang gelombang terpendek dinyatakan dalam λ_{\min} (Å) dan tegangan (V) dalam elektron volt (eV) dinyatakan dalam persamaan (Bushong, 1988):

$$\lambda_{\min} = \frac{12,4}{V} \quad (2.5)$$

dengan λ_{\min} adalah panjang gelombang terpendek dalam Angstrom dan V adalah tegangan dalam elektron volt (eV)

- b. Kuat arus tabung (dalam miliampere) didefinisikan sebagai muatan listrik yang mengalir persatuan waktu melalui suatu penampang. Pada tabung sinar-X kuat arus merupakan arus yang mengalir dari anoda ke katoda. Arus ini menyatakan jumlah elektron yang dipancarkan. Menaikkan arus tabung akan memperbesar jumlah elektron yang tertumbuk ke anoda sehingga sinar-X yang dihasilkan lebih banyak. Hubungan ini dinyatakan dalam rumus:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{I_1}{I_2} \quad (2.6)$$

dengan i adalah kuat arus listrik dan I adalah intensitas (Watt/m^2).

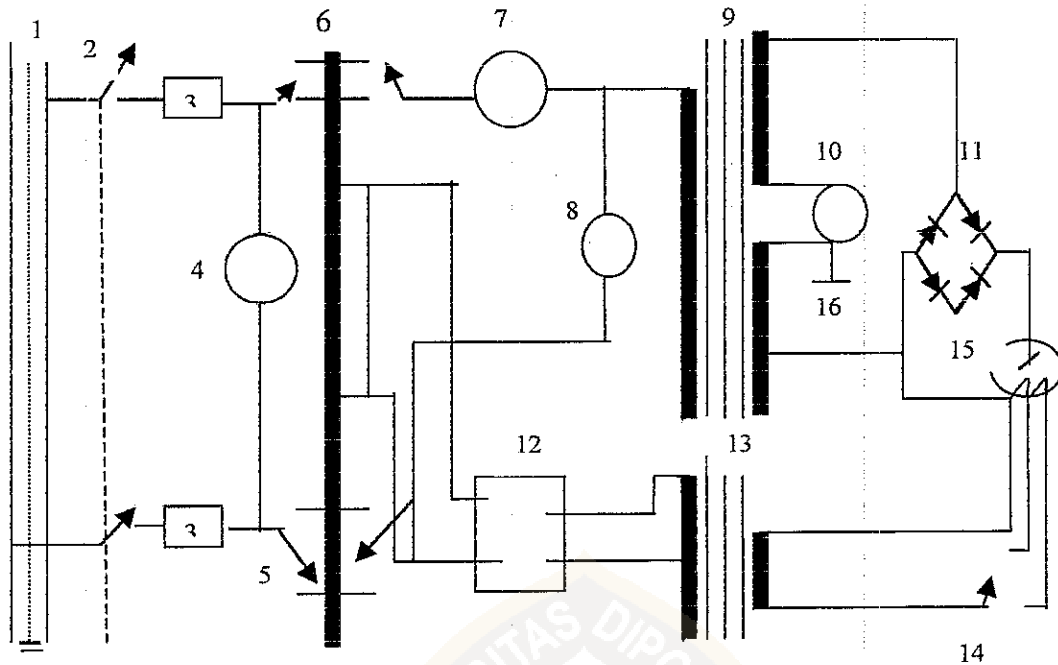
- c. Waktu eksposi (dalam detik) menunjukkan lamanya penyinaran, semakin lama waktu penyinaran maka semakin besar sinar-X yang dihasilkan. Hal ini terutama

dimaksudkan untuk mengurangi ketidaktajaman gambar yang dihasilkan di film karena gerakan obyek yang diambil. Bila waktu penyinaran yang dipilih ditingkatkan atau diperbesar akan mengakibatkan gambar yang dihasilkan di film kurang tajam.

2.1.3 Kontrol listrik

Tegangan dari generato berada dalam auto transformator yang dapat dilihat pada LV meter. Tegangan ini harus sesuai dengan yang dibutuhkan oleh pesawat sinar-X. Karena tegangan dari generator kadang tidak stabil maka tegangan yang akan menuju filamen trafo terlebih dahulu distabilkan oleh stabiliser, arus yang keluar dari stabiliser diatur oleh mA kontrol dan mA limiter, yang kemudian tegangan diturunkan oleh filamen trafo yang pada akhirnya akan menuju ke katoda.

Pada waktu yang bersamaan tegangan memasuki stabilizer dan transformotor tegangan tinggi kemudian tegangan dinaikkan sesuai dengan kebutuhan pesawat sinar-X yang menuju anoda. Karena dalam pembangkit sinar-X diperlukan arus yang kontinyu maka output dari transformotor tegangan tinggi dilengkapi dengan dioda penyearah. Bentuk rangkaian dasar pesawat rontgen dapat dilihat pada (Gambar 2.5)



Gambar 2.5. Rangkaian dasar pesawat sinar-X (Muharam B.L, 1994)

kerangan:

1. Arus listrik dari generator

2. Handle switch

Tangkai pemindah aliran listrik. Merupakan alat penghubung antara arus dan tegangan listrik dari generator ke pesawat rontgen.

3. Sekering

Sekering berfungsi menjaga keamanan peralatan listrik dari arus yang berlebihan. Arus listrik yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Dengan adanya sekering, maka arus listrik tersebut akan merusakkan sekering sebelum sampai ke rangkaian listrik. Pada rangkaian pesawat rontgen sekering dihubungkan secara seri dengan komponen yang lain.

4. Line Volt meter.

Merupakan alat untuk mengetahui tegangan listrik dari generator ke rangkaian pesawat rontgen.

5. Line Volt compensator

Merupakan tombol untuk menyesuaikan tegangan listrik masuk ke rangkaian pesawat dimana jarum penunjuk "LV meter" tepat pada angka yang telah ditentukan.

6. Autotrafo

Merupakan tempat pertama kali tegangan dan listrik masuk kerangkaian pesawat rontgen. Autotrafo adalah sebuah transformator yang lilitan primer dan lilitan sekunder menjadi satu dan berfungsi mendistribusikan arus dan tegangan listrik ke rangkaian pesawat rontgen.

7 Pengatur waktu

Merupakan alat yang berfungsi mengatur lamanya waktu penyinaran.

8. Killo Volt meter

Merupakan tombol untuk memilih tegangan tabung yang digunakan.

9 Transformator tegangan tinggi

Merupakan tegangan tinggi jenis transformator "step up" karena jumlah lilitan primer lebih sedikit dibanding jumlah lilitan sekunder. Transformator ini berfungsi untuk menaikkan tegangan listrik dan menurunkan arus listrik dari "autotrafo" yang digunakan untuk memberikan percepatan elektron. Besarnya tegangan yang dipasang pada kawat radiologi diagnostik adalah 20 kV sampai 120 kV.

10. Control milli Amper

Merupakan alat yang berfungsi mengontrol jumlah arus listrik yang masuk pada katoda tabung sinar-X.

11. Penyearah

Merupakan alat yang berfungsi untuk menyearahkan arus listrik, dari arus AC menjadi arus DC.

12. Stabilizer

Merupakan alat yang berfungsi menstabilkan arus listrik pada katoda sehingga produksi elektron pada pesawat rontgen tetap konsisten

13. Filamen trafo

Merupakan jenis transformator "step down" karena jumlah lilitan primer lebih banyak dibandingkan dengan jumlah lilitan sekunder. Filamen trafo ini berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik yang berasal dari autotrafo sampai dengan 12-24 volt.

14. Focus selector

Merupakan alat yang digunakan untuk memilih fokus pada tabung sinar-X.

15. Tabung sinar-X

Merupakan bagian dari pesawat sinar-X yang berfungsi sebagai tempat terjadinya sinar-X

16. Arde

Merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan hubungan suatu rangkaian peralatan listrik dengan tanah. Dengan cara menghubungkan rangkaian peralatan

listrik dengan suatu logam konduktor yang ditanam di dalam tanah. Fungsi dipasangnya arde pada peralatan listrik adalah sebagai pengaman terhadap kemungkinan terjadi kebocoran listrik. Apabila terjadi kebocoran listrik, maka muatan listrik akan dibuang ke dalam tanah.

Apabila switch dihidupkan maka arus listrik dari generator masuk ke rangkaian pesawat sinar-X melalui sekering sehingga tegangan yang masuk akan terlihat pada "Line Volt meter". Tegangan generator tersebut harus sesuai dengan tegangan pesawat, jika perlu diatur dengan "Line Volt Compensator" sampai jarum "Line Volt meter" tepat pada garis merah. Besarnya tegangan yang keluar dari "Autotrafo" untuk keperluan pemotretan diatur melalui "kV selector". Kemudian arus melalui "Timer" digunakan untuk menentukan lamanya waktu penyinaran, arus masuk melalui transformator tegangan tinggi. Disini tegangan dinaikkan. Arus dari transformator tegangan tinggi dimasukkan pada penyearah yang akhirnya menuju anoda sinar-X.

Tegangan listrik pada filamen tabung berasal dari "Autotrafo" diturunkan menjadi 12-24 volt oleh "Filamen trafo". Tegangan ini yang nantinya akan menjadi tenaga untuk memproduksi elektron pada katoda. Jika pada anoda ada tegangan maka elektron akan ditarik menuju anoda (target). Elektron tersebut akan menumbuk anoda sehingga terjadi sinar-X dan panas.

2.2 Prinsip Pengukuran

Untuk mengetahui nilai perubahan energi radiasi diperlukan suatu bahan atau alat yang cukup peka terhadap radiasi sehingga bila dikenai radiasi akan memberikan respon yang relatif mudah diukur (Anonim Batan, 1997). Alat deteksi radiasi yang terbuat dari bahan tersebut disebut detektor. Detektor yang digunakan berupa detektor multi function meter model 240 A.

Detektor radiasi ini dilengkapi dengan empat keseimbangan, ditambah filter yang dipakai untuk mengukur paparan radiasi, waktu, mA/mAs. Keperluan exposure minimal pada radiografik adalah 60 kV, 15 mA, 50 m sec, FSD 45 cm. Pada penelitian ini hanya mengukur paparannya saja. Didalam mengukur paparan harus diperhatikan: range Kalibrasi tegangan pada 50-165 kVp, Akurasi $\pm 15\%$, Jarak yang ditetapkan 30 – 200 cm. Dalam pengukuran keluaran sumber radiasi terapi untuk menentukan jumlah pengukuran yang diperlukan supaya suatu ketelitian tertentu tercapai dipakai persamaan sebagai berikut (Djonoputro Darmawan, B, 1980):

$$\delta \bar{x}_n = \sqrt{\frac{\sum(x_1 - N(x_n))^2}{N(N-1)}} \quad (2.7)$$

Apabila pengukuran besar x diulang N kali. Maka menurut distribusi gauss ada jaminan 68 % buah nilai rata-rata \bar{x}_n berselisihan tidak lebih dari $\pm \delta \bar{x}_n$ terhadap nilai benar x_0 . Nilai benar x_0 ada dalam selang $(\bar{x}_n \pm S \bar{x}_n)$.

Untuk mengetahui bacaan pengukuran yang sebenarnya kita harus menghitung koreksi temperatur dan tekanan udara terlebih dahulu, setelah koreksi temperatur dan tekanan udara (kpt) didapat kita bisa menghitung pengukuran yang sebenarnya.

Persamaan koreksi temperatur dan tekanan udara (kpt) serta pengukuran sebenarnya adalah (Anonim Batan, 1997) :

$$K_{pt} = \frac{273,15 + T}{293,15} \times \frac{1013,25}{P} \quad (2.8)$$

$$M_s = M \times K_{pt} \quad (2.9)$$

dengan K_{pt} adalah koreksi temperatur dan P adalah tekanan udara selama pengukuran, M_s adalah bacaan pengukuran yang sebenarnya, M adalah tegangan yang terukur pada *multi function*.

Jika harga M_s diketahui maka dapat dihitung harga prosentase perubahan atau penyimpangan pengukuran dengan persamaan (Anonim Batan, 1997) :

$$Pr osentase = \frac{M_s - V_{input}}{V_{input}} \times 100\% \quad (3.0)$$

dengan P adalah prosentase penyimpangan stabilitas alat (%), M_s adalah bacaan pengukuran sebenarnya dan V_{input} adalah tegangan yang diberikan.