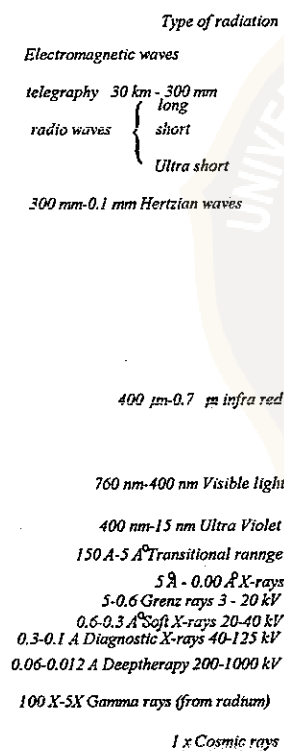


BAB II

DASAR TEORI

2.1 Diskripsi Sinar-X

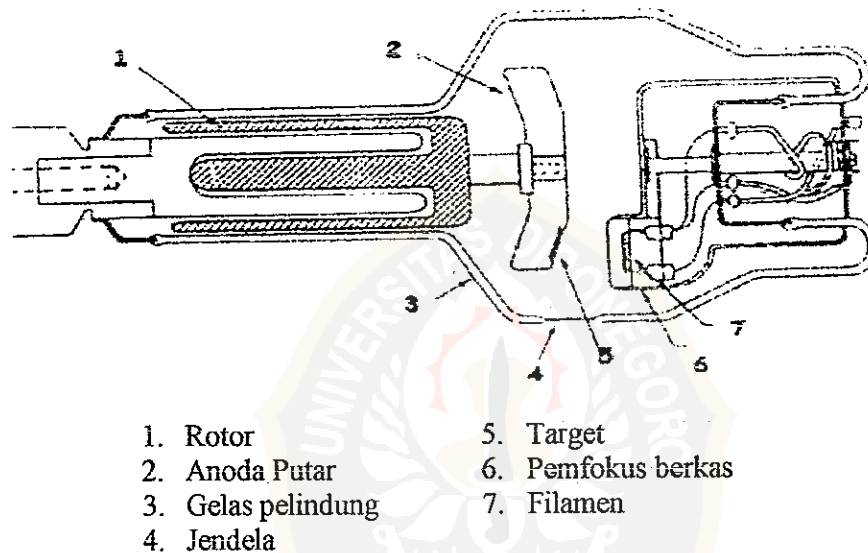
Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek dari $0,1 - 10 \text{ \AA}$, sehingga sinar-X mempunyai daya tembus yang besar (Sears dkk,1994). Untuk keperluan diagnosa medis, panjang gelombang sinar-X diagnostik mempunyai panjang gelombang $0,1 \text{ \AA} - 0,3 \text{ \AA}$ (Van der Plaats, 1972). Panjang gelombang elektromagnetik secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Spektrum Radiasi Elektromagnetik (Van der Plaats, 1972)

2.1.1 Tabung Sinar-X

Komponen terpenting pada pesawat sinar-X adalah tabung rontgen yaitu suatu jenis tabung hampa udara yang mempunyai ukuran panjang lebih kurang 20 cm sampai 35 cm dan mempunyai diameter lebih kurang 15 cm (gambar 2.2). Tabung terbuat dari *pyrex*, karena dapat lebih tahan lama akibat panas yang ditimbulkan ketika sinar-X diproduksi. Sinar-X yang dipancarkan keluar melalui jendela yang berukuran 5 cm² (Bushong, 1988).



Gambar 2.2 Tabung Sinar X (Bushong, 1988)

2.1.2 Katoda

Katoda merupakan elektroda negatif pada tabung yang mempunyai dua bagian utama yaitu filamen dan pemfokus berkas. Filamen terbuat dari kawat *tungsten* yang mempunyai diameter kira-kira 2 mm dan panjangnya 1-2 cm. *Tungsten* digunakan sebagai pilihan bahan untuk menghasilkan elektron. Bila

filamen diberi arus akan terjadi awan elektron disertai peningkatan panas pada filamen. Pemfokus berkas merupakan kedudukan filamen yang berfungsi untuk mengarahkan elektron (Bushong,1988).

2.1.3 Anoda

Anoda merupakan elektroda positif pada tabung. Terdapat dua jenis anoda yaitu anoda diam dan anoda putar. Di dalam anoda terdapat target yang terbuat dari *tungsten*, berfungsi sebagai tempat sasaran elektron katoda. Pada anoda putar target berupa lempengan bulat. Target terbuat dari *tungsten* karena mempunyai titik leleh tinggi sehingga dapat memproduksi sinar-X dan mempunyai energi yang tinggi dibandingkan dengan anoda yang terbuat dari material lain (Bushong,1988).



Gambar 2.3 . Anoda diam (A), Anoda putar (B)

Gambar 2.3 adalah contoh jenis anoda. Bintik-bintik hitam adalah daerah target yang menjadi sasaran elektron katoda ketika menumbuk anoda yang disebut dengan bintik fokus.

2.1.4 Pembentukan Sinar-X

Produksi sinar-X dihasilkan dalam tabung yang berisi perlengkapan yang diperlukan untuk menghasilkan sinar-X yaitu elektron bebas, sistem pemercepat elektron bebas, bahan penghenti atau sasaran dan ruang hampa. Elektron bebas terjadi karena emisi dari filamen yang dipanaskan. Dengan sistem fokus, elektron bebas yang dipancarkan terpusat menuju anoda. Gerakan elektron ini akan dipercepat dari katoda menuju anoda bila antara katoda dan anoda diberi beda potensial.

Gerakan elektron yang berkecepatan tinggi dihentikan oleh suatu bahan yang ditempatkan pada anoda. Bahan ini disebut dengan sasaran (target). Tumbukan yang terjadi pada sasaran menyebabkan elektron target tereksitasi. Tumbukan antara elektron dan anoda dengan tipe tumbukan seperti ini akan menghasilkan sinar-X karakteristik.

Pada tumbukan antara elektron dengan sasaran akan ada energi yang hilang selain yang keluar sebagai sinar-X. Energi yang hilang ini akan diserap oleh sasaran dan berubah menjadi panas sehingga bahan sasaran akan mudah meleleh. Untuk itu maka dipilih bahan yang tidak mudah leleh seperti *tungsten*. Untuk menghasilkan energi sinar-X yang lebih besar, tegangan yang diberikan ditingkatkan sehingga menghasilkan elektron dengan kecepatan yang lebih tinggi. Dengan demikian energi kinetik yang dapat diubah menjadi sinar-X juga lebih besar. Proses terjadinya sinar-X dapat dibedakan menjadi dua yaitu : sinar-X Bremsstrahlung dan sinar-X karakteristik.

2.1.5 Proses Sinar-X Bremsstrahlung

Sumber radiasi sinar-X terjadi dalam tabung hampa udara yang berisi filamen yang bertindak sebagai katoda dan sasaran (target) yang bertindak sebagai anoda. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik rendah menjadi sumber elektron. Elektron-elektron ini akan ditarik ke arah anoda oleh perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Makin besar beda potensial yang terjadi makin cepat elektron itu menuju sasaran (anoda). Karena elektron itu menabrak sasaran akibatnya terjadi proses perlambatan, sehingga timbul radiasi sinar-X yang berspektrum kontinyu. Radiasi sinar-X ini disebut *proses bremsstrahlung* (Wiryosimin, 1995).

2.1.6 Proses Sinar-X Karakteristik

Sinar-X dapat juga terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Adanya tingkat-tingkat energi dalam atom dapat digunakan untuk menerangkan terjadinya spektrum sinar-X dari suatu atom. Karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda, maka sinar-X yang terbentuk disebut sinar-X karakteristik.

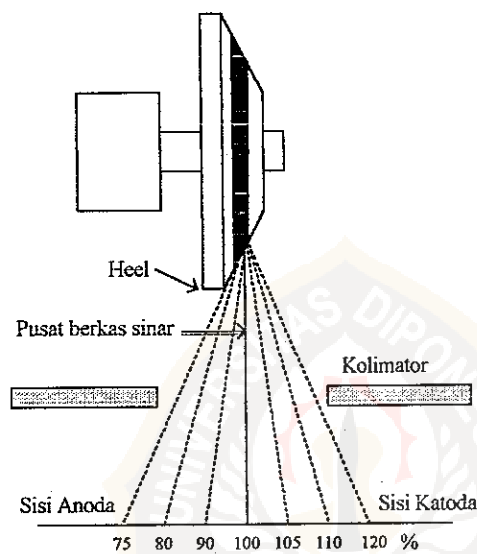
2.2 Efek Heel

Efek *heel* didefinisikan sebagai bentuk penyebaran intensitas sinar-X yang tidak merata dari sisi anoda ke sisi katoda yang disebabkan oleh kemiringan permukaan anoda. Hal ini menyebabkan intensitas sinar-X yang menuju ke arah anoda lebih sedikit dibandingkan dengan intensitas sinar-X yang menuju ke arah

katoda. Efek *heel* dipengaruhi oleh 3 buah efek yaitu : efek absorpsi, efek jarak dan efek bintang fokus.

2.2.1 Efek Absorpsi

Elektron setelah menumbuk target sebagian akan diserap target dan sebagian akan dihamburkan di dalam target sehingga menghasilkan intensitas sinar-X yang berbeda.



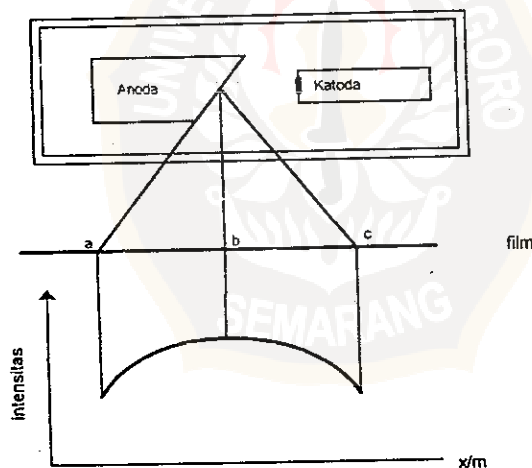
Gambar 2.4: Efek *heel* menyebabkan pengurangan intensitas sinar-X pada sisi anoda akibat dari penyerapan oleh "heel" (Bushong, 1988)

Pada gambar 2.4 menunjukkan sinar-X menuju ke arah pusat berkas sinar sedikit atau tidak mengalami perlemahan. Sedangkan sinar-X yang menuju arah yang mendekati atau sejajar bidang kemiringan anoda akan mengalami penyerapan lebih besar atau terserap oleh bahan anoda sampai 25 % dibanding pada daerah pusat berkas sinar. Sedang arah sinar yang menuju arah katoda mengalami penambahan intensitas sampai dengan 20 % dari pusat berkas sinar

Dari peristiwa tersebut maka intensitas sinar-X menuju ke arah katoda akan mempunyai intensitas yang lebih besar dibandingkan sinar-X yang menuju arah anoda (Bushong, 1988)

2.2.2 Efek Jarak

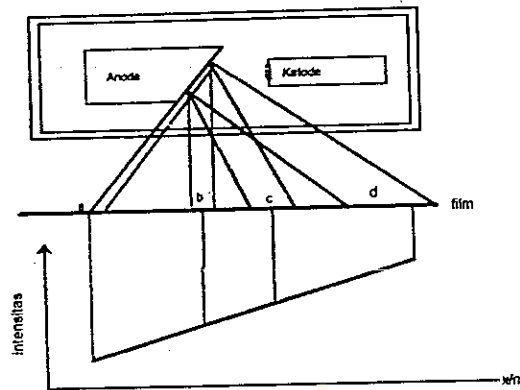
Jarak fokus dengan film dan posisi film yang mendatar akan menyebabkan efek perluasan sinar-X yang tidak merata. Pada gambar 2.5 menunjukkan radiasi di titik a dan titik c berjalan miring sehingga jaraknya lebih jauh dibanding yang menuju titik b. Sesuai dengan hukum kwardat terbalik bahwa intensitas sinar-X berbanding terbalik dengan kuadrat jarak. Jika jarak diperbesar n kali, maka intensitasnya menjadi $1/n^2$ dari intensitas semula, atau makin besar jarak penyinaran maka intensitas makin turun (Van der plaats, 1969).



Gambar 2.5 : Ilustrasi distribusi sinar-X akibat efek jarak (Meredith, 1977)

2.2.3 Efek Bintik fokus

Sudut kemiringan anoda menyebabkan proyeksi bintik fokus yang berbeda. Dari gambar 2.6 dapat menunjukkan ukuran proyeksi bintik fokus dengan berbagai sudut yang diproyeksikan dari target,



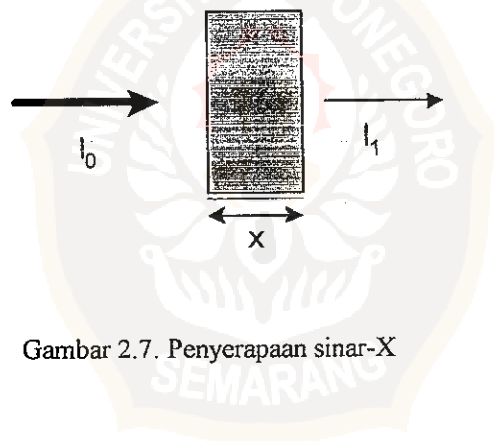
Gambar 2.6 : Ilustrasi distribusi sinar-X akibat bintik fokus (Quinn,1985)

Proyeksi bintik fokus yang mendekati atom tegak lurus permukaan target mempunyai luas proyeksi paling besar (d) dibandingkan proyeksi bintik fokus dibelakangnya (c), begitu selanjutnya untuk daerah b dan a. Proyeksi bintik fokus yang besar menyebabkan intensitas sinar-X menjadi besar begitu juga sebaliknya proyeksi bintik fokus kecil menyebabkan intensitas sinar-X menjadi kecil.

2.3 Sifat-Sifat Sinar-X

Di bidang radiodiagnostik yang secara khusus memanfaatkan sinar-X untuk mendiagnosa suatu penyakit, penggunaan sinar-X adalah didasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya (Hoxter,1973) yaitu :

1. Mempunyai daya tembus yang besar terhadap obyek, hal ini dipengaruhi oleh energi sinar-X dan nomor atom obyek yang ditembus.
2. Menimbulkan efek fotografis dalam bentuk penghitaman plat fotografi. Perak bromida (AgBr) yang merupakan bahan aktif pada emulsi film apabila terkena sinar-X akan terbentuk bayangan laten. Setelah melalui proses pengolahan secara kimiawi dengan larutan pembangkit (*developer*) akan terbentuk bayangan yang dapat dilihat.
3. Menimbulkan radiasi hambur dalam semua bahan yang ditembusnya.
4. Mengalami atenuasi yang merupakan proses pengurangan intensitas ketika melalui bahan. Atenuasi ini dipengaruhi oleh kerapatan, ketebalan dan nomor atom bahan yang dilalui.



Gambar 2.7. Penyerapan sinar-X

Jika intensitas radiasi sinar-X melalui medium dengan koefisien serapan (μ) dengan ketebalan x (gambar 2.7) maka perubahan intensitas memenuhi persamaan:

$$\frac{dI}{dx} = -\mu I \quad 2.1$$

integrasi persamaan (2-1) diperoleh :

$$I_t = I_0 e^{-\mu x} \quad 2.2$$

Dengan I_t adalah intensitas setelah menembus obyek (watt/m^2), I_0 adalah intensitas mula-mula (watt/m^2), e adalah bilangan basis logaritma alam, μ adalah koefisien atenuasi medium ($1/\text{m}$) dan x adalah ketebalan medium (m).

2.4 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Kualitas Sinar-X

Banyaknya paparan sinar-X yang diterima oleh film sinar-X dipengaruhi oleh material atom target, tegangan tabung, arus tabung dan jarak dari fokus ke film.

2.4.1 Material Atom Target

Nomor atom bahan target mempengaruhi jumlah energi efektif sinar-X yang dihasilkan. Peningkatan nomor atom bahan target mengakibatkan peningkatan efisiensi produksi *Bremstrahlung* dan peningkatan energi sinar-X karakteristik yang dihasilkan. Kualitas sinar-X sebanding dengan nomor atom bahan target yang digunakan (Bushong, 1988).

2.4.2 Tegangan Tabung Sinar X

Tegangan tabung sinar-X atau beda potensial antara anoda dan katoda selain menentukan energi maksimum sinar-X yang dihasilkan juga menentukan paparan sinar-X.

2.4.3 Arus Tabung

Arus tabung didefinisikan sebagai jumlah elektron persatuan waktu yang bergerak dari katoda ke anoda. Paparan sinar-X yang terjadi sebanding dengan besarnya arus tabung (Meredith, 1977).

2.4.4 Jarak Film Ke Fokus

Merupakan jarak antara fokus dengan film, perubahan jarak antara fokus dan film berakibat pada perubahan nilai paparan sinar-X yang mengenai film yaitu :

$$\frac{d_2^2}{d_1^2} = \frac{I_2}{I_1} \quad 2.3$$

dimana d_1 adalah jarak pertama, d_2 adalah jarak kedua, I_1 adalah intensitas jarak pertama, I_2 adalah intensitas jarak kedua.

2.5 Produksi Radiasi Hambur

Hamburan foton sinar-X, hasil interaksi dengan bahan mempunyai tenaga yang lebih kecil dari foton primer, sehingga daya tembusnya berkurang. Meskipun radiasi hambur bergerak kesegala arah tetapi ada sebagian yang bergerak menuju film dengan atau tanpa arah yang sama dengan berkas sinar primer (Meredith dkk, 1977). Produksi radiasi hambur dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain sebagai berikut :

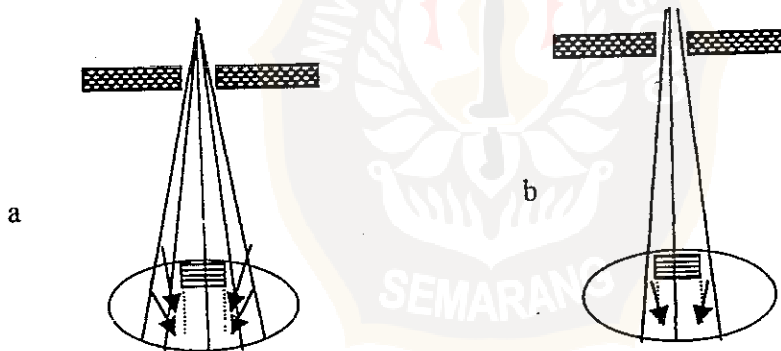
2.5.1 Tegangan Tabung

Tidak semua foton yang dihasilkan dalam tabung sinar-X diserap oleh obyek, tetapi ada sebagian yang dihamburkan kesegala arah. Foton sinar-X yang dihamburkan mengalami pengurangan energi dan daya tembus. Jika tegangan tabung dinaikkan maka akan mempengaruhi intensitas radiasi hambur yang berhasil mencapai film. Kenaikkan tegangan tabung berarti juga meningkatkan

energi foton sinar-X, maka kecendrungan terjadinya interaksi Compton pada rentang energi diagnostik (20 keV – 100 keV) juga akan meningkat (Meredith dkk, 1977).

2.5.2 Ukuran Luas Lapangan

Semakin besar ukuran luas berkas sinar-X yang digunakan, semakin besar pula jumlah radiasi foton yang dihamburkan (Bushong, 1988). Hal ini disebabkan semakin banyaknya radiasi primer yang dipancarkan sesuai dengan luas lapangan yang digunakan. Luas lapangan yang semakin kecil akan memperkecil jumlah radiasi yang dihasilkan begitu pula sebaliknya. Cara yang paling efektif untuk menekan radiasi hambur akibat ukuran luas lapangan ini adalah dengan mengatur kolimator atau dengan menggunakan konus.



Gambar 2.8: Peningkatan radiasi hambur yang diakibatkan oleh penambahan luas lapangan penyinaran, gambar (a) Luas lapangan penyinarannya besar dan gambar (b) luas lapangan penyinaran kecil (Sprawls, 1987)

Penggunaan luas lapangan penyinaran sesuai kebutuhan akan mengurangi banyaknya radiasi hambur yang dihasilkan, meningkatkan kontras radiograf dan

dapat mengurangi jaringan tubuh yang teradiasi sehingga dosis radiasi yang diterima jaringan tersebut berkurang.

2.6 Efek Radiasi Hambur Terhadap Citra Radiografi

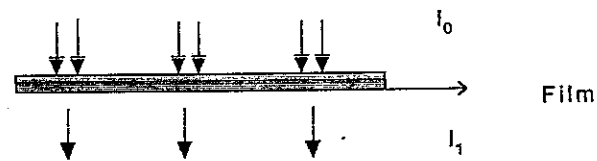
Radiasi yang mencapai film terdiri dari radiasi primer dan radiasi hambur. Radiasi primer berjalan dari tabung sinar-X, kemudian melalui pasien dengan tidak mengalami perubahan arah namun jumlahnya berkurang. Radiasi primer ini sangat berguna pada pembentukan pola bayangan pada radiograf sedangkan radiasi hambur yang bergerak ke segala arah dan menyinari film secara tidak merata, tidak memberikan pola bayangan yang berarti dan bahkan akan dapat menurunkan nilai kontras pada citra radiografi (Meredith dkk, 1977).

2.7 Kualitas Radiografi

Kualitas radiograf adalah kondisi radiograf dalam menampilkan kembali pola bayangan dari variasi transmisi sinar-X yang melewati obyek. Empat besaran yang dapat digunakan untuk menilai kualitas radiograf yaitu: densitas film, kontras radiograf, ketajaman radiograf dan tingkat kekabutan

2.7.1 Densitas Film

Densitas film diartikan sebagai tingkat atau derajat kehitaman pada radiograf akibat banyaknya sinar-X yang mengenai emulsi film. Sesuai dengan jumlah paparan yang diterima dari tabung sinar-X, semakin tinggi nilai paparan, maka semakin tinggi tingkat kehitaman pada radiograf.



Gambar 2.9. Pengukuran Densitas

Densitas pada suatu radiograf dapat didefinisikan sebagai nisbah logaritma antara intensitas cahaya sebelum mengenai film dengan intensitas cahaya sesudah mengenai film. Secara matematis ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut (Bushong, 1988) :

$$D = \log \frac{I_0}{I_1} \quad 2.4$$

Dengan D adalah densitas, I_0 adalah intensitas cahaya sebelum menembus film dan I_1 adalah intensitas setelah melewati film

Radiograf yang sangat hitam mempunyai densitas optik yang tinggi dan radiograf yang lebih terang mempunyai densitas optik yang rendah, dengan skala 4 sebagai densitas optik maksimal dan skala 0 sebagai minimal (Chesney, 1981). Sebuah radiograf akan menampilkan informasi yang lebih lengkap apabila densitas berada pada rentang densitas guna, dalam bidang radiodiagnostik berada antara 0,25 sampai 2,0.

2.7.2 Kontras Radiografi

Kontras radiografi adalah perbedaan derajat kehitaman antara bagian yang satu dengan bagian yang lain dalam sebuah radiograf (Curry III, 1990). Hal ini disebabkan oleh perbedaan daya absorpsi sinar-X terhadap obyek yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C = D_2 - D_1 \quad 2.5$$

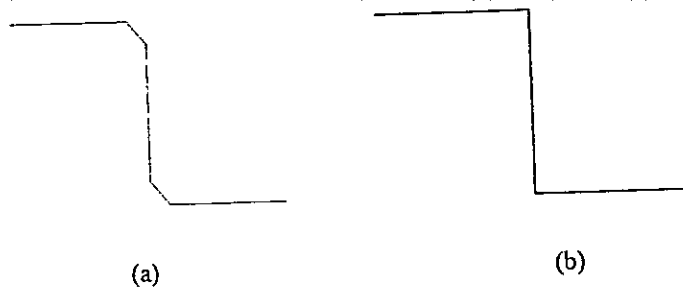
Dengan C adalah kontras, D_2 adalah densitas daerah 2, D_1 adalah densitas daerah 1

Kontras radiograf dibedakan menjadi 2 yaitu kontras obyektif dan kontras subyektif, kontras obyektif adalah kontras radiografi dengan perbedaan derajat kehitaman yang dapat ditentukan secara obyektif dengan alat pengukur (densitometer) kontras obyektif dipengaruhi oleh kontras radiasi dan kontras film.

Kontras radiasi dapat terjadi oleh adanya perbedaan absorpsi sinar-X oleh struktur obyek yang dipapari. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh energi radiasi, kerapatan jaringan, perbedaan nomor atom dan perbedaan ketebalan. Kontras film sangat penting pada diagnosa dengan menggunakan film sinar-X, karena kontras film yang tinggi akan memperbaiki kontras radiograf, sedangkan kontras film rendah akan menurunkan nilai kontras radiograf.

2.7.3 Ketajaman Radiograf

Suatu radiograf mempunyai ketajaman yang baik apabila lebar batas peralihan antara dua daerah yang bersebelahan dalam suatu radiograf terlihat dengan tegas (Meredith dkk, 1977)



Gambar 2.10 Ilustrasi ketajaman suatu radiograf , (a) Gambar dengan batas kurang tajam, (b) gambar dengan batas yang tajam (Meredith, 1977)

Beberapa faktor yang mempengaruhi ketajaman radiograf antara lain;

a. Faktor geometri

Ini terjadi karena penggunaan ukuran fokus dan jarak fokus ke film yang tidak tepat dan obyek penyinaran yang tidak menempel atau dekat dengan film

b. Faktor gerakan

Ini dapat terjadi karena adanya gerakan dari obyek, tabung sinar-X dan film

c. Penggunaan lembar penguat

Ini disebabkan oleh perpendaran cahaya tampak kesegala arah yang mencapai film

2.7.4 Tingkat Kekabutan

Bagian film yang tidak terkena paparan akan menampilkan nilai densitas sebesar 0,12 yang merupakan densitas kabut dan densitas latar belakang, densitas kabut rata-rata sebesar 0,05 dan densitas latar belakang rata-rata adalah sebesar 0,07 yang disebabkan butiran perak halida (AgBr) yang mengembang (Curry dkk, 1985).

