

BAB II

DASAR TEORI

2.1. INTERAKSI SINAR-X DENGAN BAHAN

Di bidang Radiodiagnostik bila berkas sinar-X berinteraksi dengan bahan yang dilaluinya, maka terjadi beberapa peristiwa diantaranya efek fotolistrik, efek Compton, dan lain-lain.

2.1.1 Efek Fotolistrik

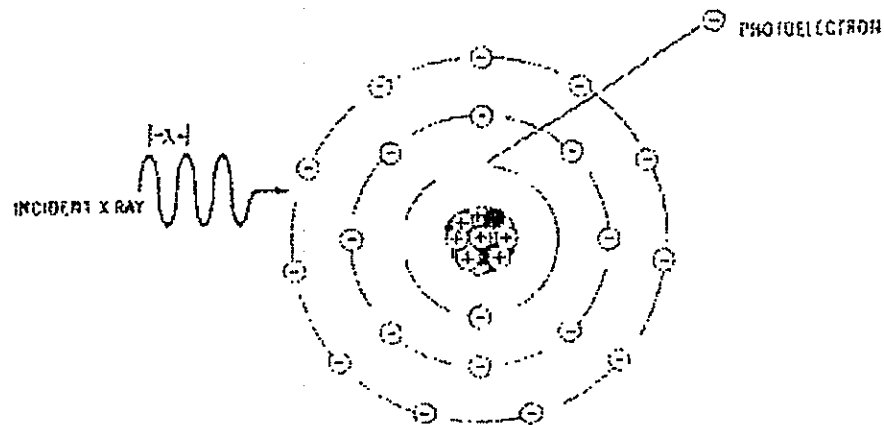
Efek fotolistrik adalah suatu proses di mana elektron konduksi dalam logam dan dalam bahan lain menyerap energi dari medan elektromagnetik sehingga mampu lepas dari bahan. Efek fotolistrik terjadi jika foton yang datang mempunyai energi yang lebih besar dari energi ikat elektron. Partikel penyebab utama yang dihasilkan dari interaksi ini adalah foto-elektron. Foto-elektron melepaskan energinya dalam medium penyerap terutama melalui pengaktifan dan ionisasi.

Jika elektron dilepas keluar dari bahan, selisih antara energi yang diserap elektron dan energi ikat elektron permukaan bahan muncul sebagai energi kinetik elektron. Energi kinetik elektron yang terlepas dinyatakan dalam (Beiser, 1983).

$$E_{k \text{ maks}} = h (\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0 \quad (2-1)$$

dengan E_k adalah energi kinetik foto elektron (J), h adalah konstanta Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ Js), ν , ν_0 adalah masing-masing frekuensi foton dan frekuensi ambang (Hz), frekuensi minimum yang diperlukan untuk melepas elektron dari bahan, $h\nu$ adalah isi energi dari masing-masing kuantum cahaya / foton datang

dan $h\nu_0$ adalah energi ambang yaitu energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan sebuah elektron dari permukaan logam yang disinari.



Gambar 2. 1. Efek Fotolistrik (Bushong, 1988)

2.1.2. Efek Compton (Cember, 1983)

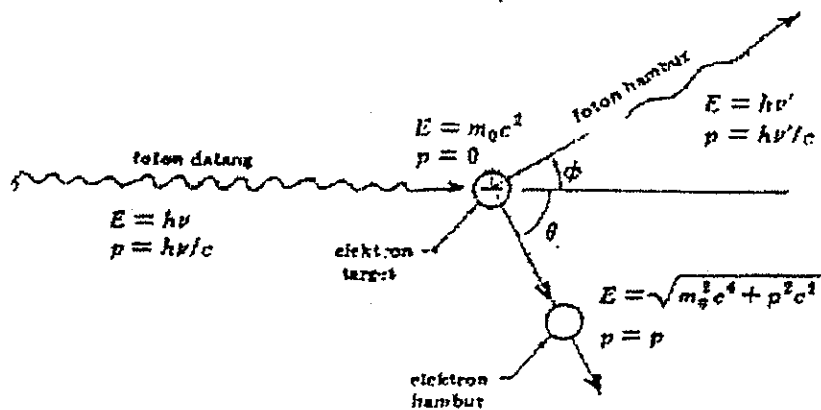
Efek Compton terjadi bila foton sinar-X menumbuk elektron kulit terluar yang mula-mula dalam keadaan diam kemudian mengalami hamburan. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron, sehingga terlepas dari atom, energi yang tersisa diradiasikan kembali sebagai radiasi elektromagnet. Didapatkan perubahan panjang gelombang foton sebesar:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (2.2)$$

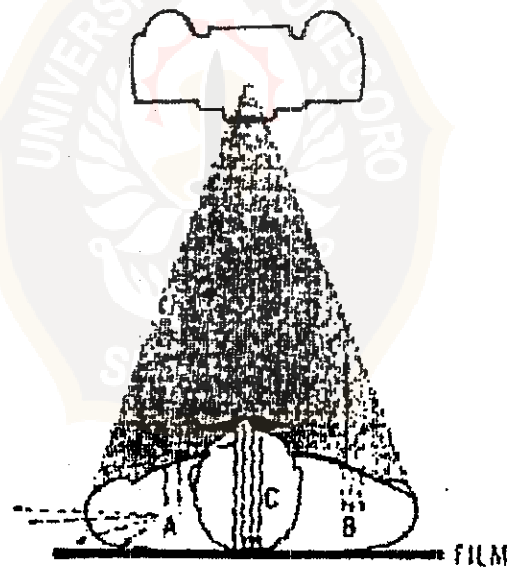
dengan $\Delta\lambda$ adalah selisih panjang gelombang, λ' adalah panjang gelombang foton terhambur, λ adalah panjang gelombang mula-mula, h adalah konstanta plank, m_0 adalah massa diam elektron dan c adalah kecepatan cahaya.

Elektron yang terhambur ini merupakan energi dari foton yang terhambur dipindahkan ke medium penyerap. Elektron Compton merupakan salah satu dari partikel-partikel penyebab ionisasi yang utama yang dihasilkan

oleh radiasi sinar-X. Foton yang berenergi tinggi kehilangan fraksi energinya lebih banyak daripada foton yang berenergi rendah, pada saat terhambur. Interaksi Compton akan menurun bersama naiknya energi kuantum dan bersama bertambahnya nomor atom dari penyerap. Dalam unsur-unsur yang bernomor atom kecil, hamburan Compton merupakan mekanisme interaksi yang utama.



Gambar 2. 2 . Efek Compton (Beiser, 1982)



Gambar 2. 3. Tiga tipe sinar-X yang penting dalam pembuatan radiografi. (A). Efek Compton, (B). absorpsi foto elektron, (C). radiasi yang ditranmisi oleh pasien tanpa interaksi (Bushong, 1988)

2.2. Pengaruh dan Pengendalian Radiasi Hambur Terhadap Radiograf

Tidak semua foton yang dipancarkan oleh tabung sinar-X diserap oleh pasien tetapi banyak foton yang dihamburkan ke segala arah. Foton radiasi yang dihamburkan mengalami pengurangan energi dan daya tembus.

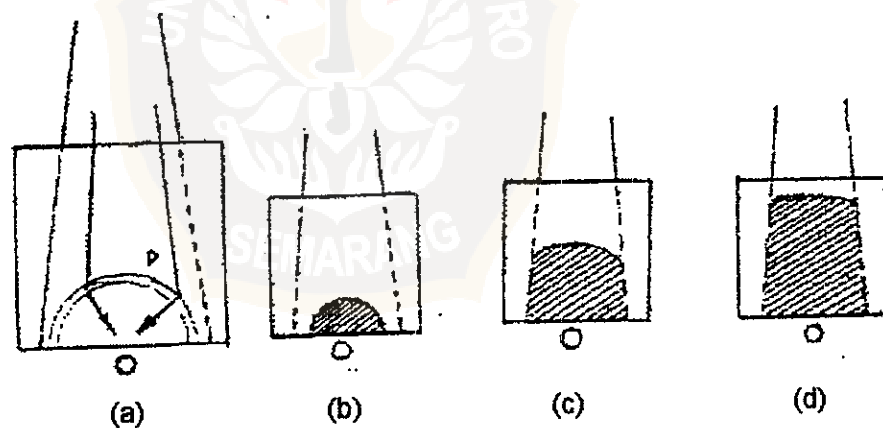
Banyaknya radiasi hambur yang dihasilkan dipengaruhi oleh (Meredith dan Massey, 1977)

a) Volume jaringan yang disinari.

Semakin besar volume jaringan yang disinari, semakin bertambah radiasi hambur yang dihasilkan.

b) Energi foton sinar-X.

Pada rentang tegangan antara 5-10 kali lebih banyak daripada sinar primer, pengaruh tegangan tabung terhadap radiasi hambur dapat dijelaskan sebagai berikut :



tegangan rendah tegangan sedang tegangan tinggi
 Gambar. 2.4 : Menunjukkan pengaruh tegangan terhadap banyaknya radiasi hambur yang mencapai film. (Meredith dan Messey, 1977)

Pada gambar (a) menunjukkan bak berisi air disinari dengan sinar-X maka akan terjadi radiasi hambur pada semua titik air di dalam berkas dan sebagian akan menuju titik O pada film. Banyaknya radiasi hambur dari P yang menuju titik O tergantung dari jumlah radiasi hambur yang terjadi di P yang bergerak ke O dan jumlah yang teratenuasi oleh air antara P dan O.

Pada gambar (b, c dan d) daerah yang diarsir menunjukkan radiasi hambur yang mencapai film dimana semakin bertambahnya tegangan semakin banyak radiasi hambur yang mencapai film. Meskipun lebih banyak radiasi hambur yang dihasilkan pada tegangan lebih rendah tetapi daya tembusnya begitu kecil sehingga jumlahnya sedikit yang sampai ke titik O.

2.2.1. Pengaruh radiasi hambur terhadap radiograf

Foton sinar-X yang mengenai pasien tidak semua diserap atau diteruskan, tetapi ada pula yang dihamburkan. Foton mula-mula digantikan oleh foton lain yang berbeda dengan tenaga dan daya tembus yang berkurang.

Radiasi yang mengenai film terdiri dari foton primer dan foton sekunder. Foton primer yang bergerak dari tabung sinar-X dan melalui pasien dengan tidak berubah-ubah. Sedangkan radiasi sekunder bergerak ke segala arah dan menyinari film secara tidak merata sehingga umumnya golongan foton ini tidak berpola. Hal ini akan menurunkan kontras pada film. Jadi dengan adanya radiasi hambur dapat mengakibatkan kontras radiograf menjadi berkurang.

2.2.2. Pengendalian radiasi hambur

1. Penurunan produksi radiasi hambur

Usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk mengurangi radiasi hambur adalah :

a. Pemilihan penggunaan energi yang optimum.

Pemilihan tegangan yang tepat dapat mengurangi banyaknya radiasi hambur yang dihasilkan dan dapat meningkatkan kontras pada radiograf. Pemilihan tegangan mempengaruhi fraksi radiasi yang akan diteruskan oleh pasien yang menuju ke film. Semakin bertambah tegangan, semakin banyak radiasi yang mencapai film.

b. Pembatasan luas lapangan penyinaran.

Pembatasan 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 pasien berkurang.

2. Pengurangan radiasi hambur mencapai film.

a. Teknik *air gap*

Dengan teknik *air gap* (celah udara) antara film dengan obyek dapat mengurangi radiasi hambur mencapai film.

b. Penggunaan kisi sinar-X

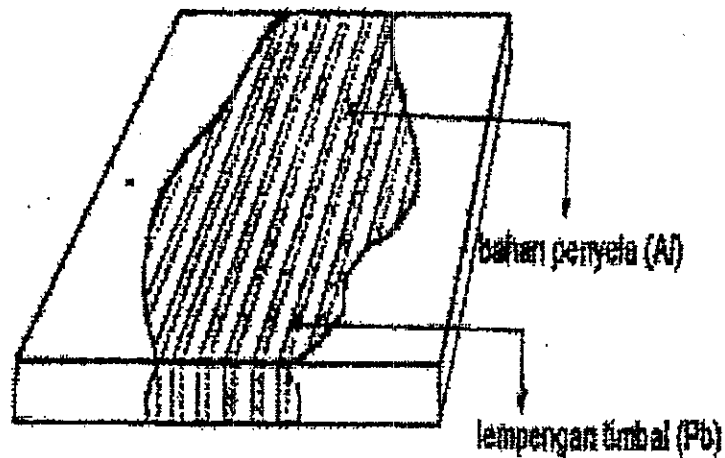
Kisi sinar-X dapat menyerap radiasi hambur, sedangkan radiasi primer masih dapat mencapai film.

2.3. Kisi Sinar-X

2.3.1 Definisi kisi sinar-X

Kisi sinar-X adalah suatu alat bantu dalam pemotretan radiografi yang berguna untuk meningkatkan kontras radiograf, berbentuk lembaran dan tersusun oleh sejumlah lempengan-lempengan timbal yang panjang serta

tersusun sejajar satu dengan yang lainnya dan bahan pemisah tiap lempeng timbal merupakan bahan yang tembus sinar-X.



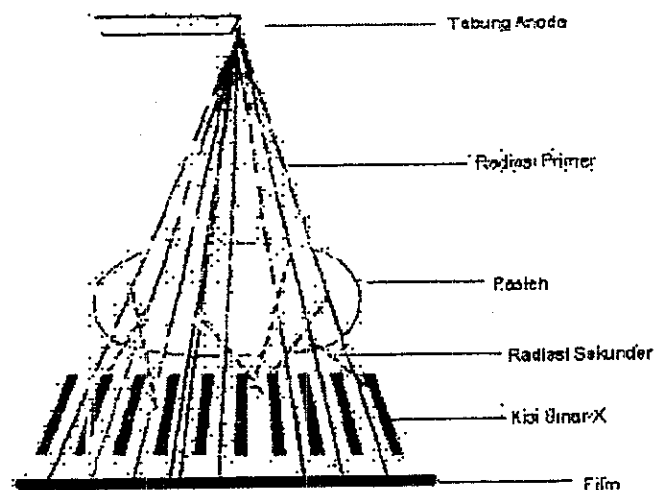
Gambar 2. 5 Kisi sinar-X bila penutupnya dibuka (Meredith dan Messey, 1977)

2.3.2 Fungsi kisi sinar-X

- a) Mengurangi/menyerap radiasi hambur dari obyek yang difoto röntgen sebelum sampai ke film.
- b) Meneruskan radiasi primer melalui interspace material, meskipun ada sebagian radiasi primer yang tertahan oleh lempeng Pb.

2.3.3 Cara kerja kisi sinar-X

Kisi sinar-X dirancang untuk meneruskan sinar-X dari sumber ke film yang arahnya sama dengan garis lempengan. Kisi sinar-X diletakkan antara pasien dan film.



Gambar 2. 6. Kisi sinar-X diletakkan diantara pasien dengan kaset.
(Christensen's, 1981)

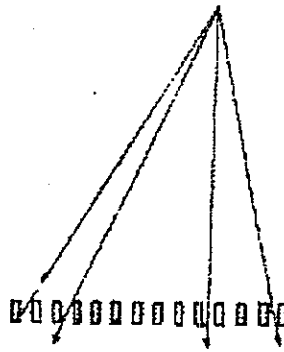
Sinar-X yang berjalan menyudut diserap oleh lempengan timbal. Semua foton sinar-X yang keluar dari pasien dan mencapai bahan kisi sinar-X akan diserap dan tidak mengenai film. Foton primer ditransmisikan melalui bahan penyela menuju film. Foton radiasi hambur pada bahan penyela mungkin terabsorpsi mungkin tidak, tergantung dari sudut penyimpangan radiasi hambur dan karakteristik kisi sinar-X.

2. 4. Macam-macam kisi sinar-X

2.4.1 Struktur kisi sinar-X

1. Kisi linier

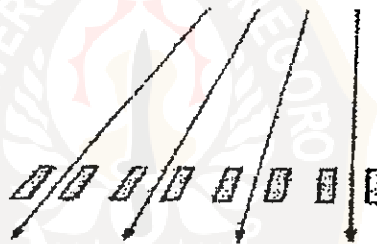
Kisi linier adalah kisi sinar-X yang mempunyai susunan lempengan timbal paralel satu sama lain. Sifat sinar-X adalah divergen, maka foton yang langsung masuk kisi sinar-X dapat berasal dari berkas sinar yang membentuk sudut atau yang tegak lurus dari fokus melalui bahan penyela.



Gambar 2. 7. Kisi sinar-X linier (Meredith dan Messey, 1977)

2. Kisi sinar-X terpusat (Focusing grid)

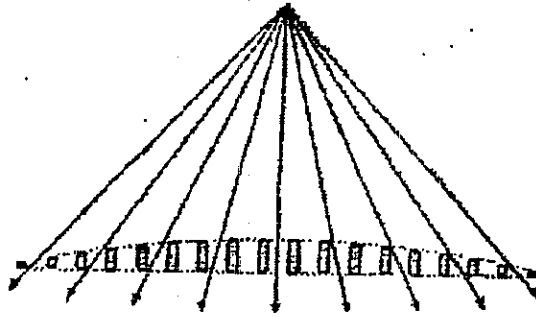
Kisi fokus adalah jenis kisi sinar-X yang mempunyai susunan lempengan timbal dari ujung ke tengah seolah-olah menuju ke satu titik atau fokus, sehingga sinar dengan sudut kemiringan tertentu masih menerobos kisi sinar-X melalui lempengan timbal.



Gambar 2. 8. Kisi terpusat (Meredith dan Messey, 1977)

3. Kisi terpusat semu (Pseudo Focus Grid)

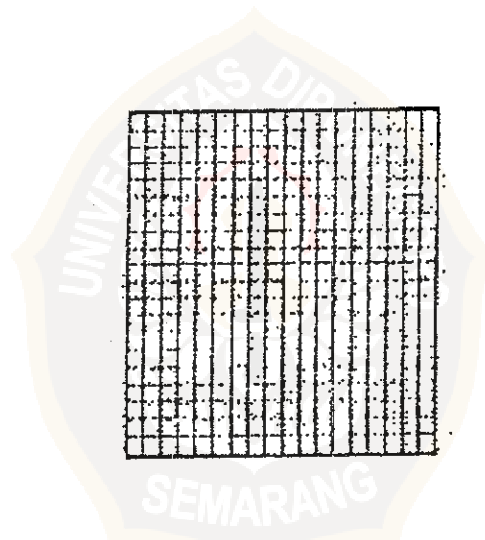
"*Pseudo focus grid*" adalah kisi sinar-X yang jenisnya seperti kisi linier tetapi tinggi lempengan timbal dari ujung ke tengah semakin panjang, kemungkinan sinar oblik (sinar dengan sudut kemiringan tertentu) masih bisa sampai ke film.



Gambar2. 9. Kisi terpusat semu (Meredith dan Messey, 1977)

4. Kisi silang (crossed grid)

Kisi sinar-X silang adalah jenis kisi sinar-X yang mempunyai susunan lempengan timbal tegak lurus satu sama lain oleh dua buah linier kisi sinar-X yang ditumpuk menyilang. Jenis ini didesain untuk lebih banyak menyerap radiasi hambur.



Gambar 2. 10. Kisi silang (Cullinan, 1980)

2.4.2. Mekanisme kerja kisi sinar-X

1. Kisi diam (*stationary grid*)

Kisi diam adalah kisi sinar-X yang tetap diam selama eksposi dilakukan dikenal juga dengan nama lysolm.

2. Kisi bergerak (moving grid)

Kisi bergerak adalah kisi sinar-X yang bergerak sewaktu diadakan eksposi. Tujuan pergerakan kisi sinar-X adalah agar garis-garis kisi sinar-X tampak kabur pada radiograf. Kisi sinar-X bergerak dikenal dengan nama Bucky.

2.5. Karakteristik kisi sinar-X

Sejumlah faktor harus diperhatikan dalam pemilihan kisi sinar-X. Secara umum pemilihan kisi sinar-X didasarkan pada kemampuan untuk dapat menghasilkan perbaikan kontras yang tinggi, pertimbangan beban eksposi yang diterima serta kemungkinan beban terhadap pesawat lebih kecil. Penerapan yang paling baik untuk memilih kisi sinar-X adalah dengan membandingkan kualitas gambaran dengan faktor-faktor karakteristik kisi sinar-X.

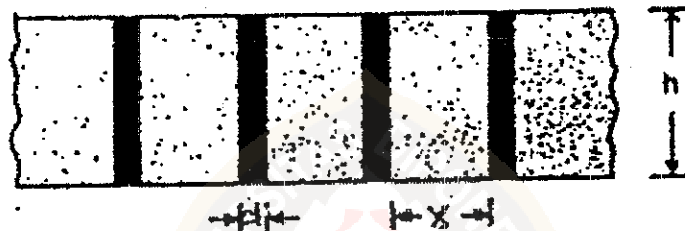
Karakteristik kisi sinar-X meliputi :

2.5.1. Nisbah kisi sinar-X (r)

Karakteristik penetrasi untuk radiasi yang dihamburkan sangat ditentukan oleh dimensi strip-strip timah hitam dan bahan antara. Tinggi strip (h), merupakan ketebalan kisi sinar-X dalam range 2 mm sampai dengan 5 mm. Dimensi penting lainnya adalah lebar dari bahan antara (x).

Dimensi ini bervariasi dengan disain kisi sinar-X tetapi umumnya mempunyai range antara 0,25 mm sampai dengan 0,4 mm. Terhadap penampilan kisi sinar-X, variabel pentingnya adalah nisbah kisi sinar-X. Nisbah kisi sinar-X adalah perbandingan antara tinggi lempengan timbal dengan ketebalan bahan antara. Nisbah kisi sinar-X dituliskan dalam dua nomor. Nomor pertama adalah nisbah yang sebenarnya, sedangkan nomor kedua adalah sebagai faktor pembanding yang nilainya selalu sama dengan satu (1). Nisbah

kisi sinar-X menentukan kemampuan sebagai penyerap radiasi hambur. Semakin tinggi nisbah kisi semakin tinggi pula kemampuan kisi sinar-X untuk menyerap radiasi hambur, demikian pula sebaliknya. Kisi sinar-X mempunyai nisbah yang berange dari 5:1 sampai dengan 16:1. Kisi sinar-X dengan nisbah tinggi lebih efektif untuk memotong radiasi hambur daripada kisi sinar-X dengan nisbah rendah, karena sudut deviasi yang dapat melewati kisi dengan nisbah tinggi lebih kecil daripada nisbah rendah (Bushong, 1988). Walaupun kisi sinar-X dengan nisbah kisi yang lebih tinggi mengeliminasi lebih radiasi yang dihamburkan, tapi cenderung untuk meningkatkan exposure pasien (Sprawls, Perry, 1987).



Gambar 2. 11. Menunjukkan Nisbah kisi (Bushong, 1988)

$$\text{Nisbah kisi sinar-X } (r) = \frac{h}{x}$$

dengan r adalah nisbah kisi, h adalah tinggi irisan bahan penyerap (Pb) dan x adalah jarak antara lempengan Pb (Al).

Kisi sinar-X dengan nisbah tinggi lebih efektif untuk memotong radiasi hambur daripada kisi dengan nisbah rendah, karena sudut deviasi yang dapat melewati kisi dengan nisbah tinggi lebih kecil daripada nisbah rendah. (Bushong, 1988).

2.5.2 Kadar timbal

Kadar timbal adalah berat timbal dalam setiap 1 cm persegi pada setiap kisi. Kadar suatu timbal persatuan luas adalah faktor yang menentukan efisiensi suatu kisi sinar-X (Meredith dan Messey, 1977). Kadar timbal yang biasa dipakai 0,2 gram/cm² sampai 0,9 gram/cm². Kadar timbal menentukan berat ringannya suatu kisi. Kisi berat yang mempunyai banyak timbal per cm² lebih efisien daripada kisi ringan. Jika ada dua buah kisi dengan nisbah yang sama tetapi kadar timbal berbeda, maka kisi yang mempunyai kadar timbal lebih banyak akan menghilangkan lebih banyak radiasi hambur tetapi masih meneruskan lebih banyak radiasi primer. Pada kenyataannya kisi berat dengan nisbah rendah akan lebih baik daripada kisi ringan dengan nisbah tinggi.

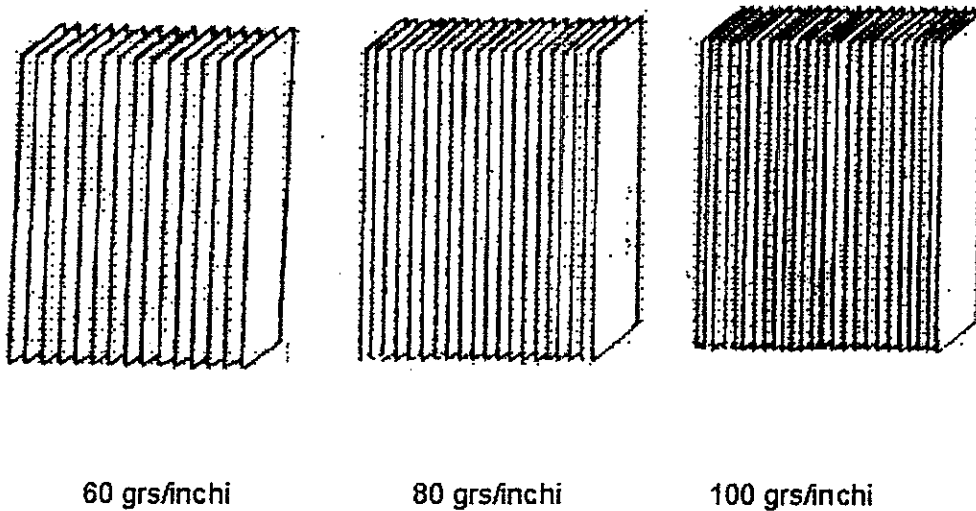
2.5.3 Bahan penyela (Al)

Garis-garis timbal pembentuk kisi dipisahkan satu sama lain dan sejajar oleh garis-garis bahan penyela. Tujuan pemakaian bahan penyela adalah untuk mempertahankan jarak antara jalur-jalur timbal kisi yang sangat halus. Bahan penyela biasanya alumunium atau plastik fiber. Alumunium mempunyai nomor atom yang lebih tinggi daripada plastik sehingga selektif menyaring radiasi hambur yang tidak diserap oleh timbal. Selain itu gambaran garis-garis kisi pada radiograf akan tampak samar jika menggunakan Al. Alumunium mempunyai 2 kelebihan dibanding plastik fiber, yaitu (Bushong, 1988).

- a) Al bersifat non higroskopis, sehingga tidak menyerap air seperti plastik fiber.
- b) Kisi sinar-X dengan bahan penyela Al lebih mudah dibuat dengan mutu yang tinggi, karena lebih mudah dibentuk menjadi lembaran dengan ketebalan tepat.

2.5.4. Frekuensi kisi sinar-X

Frekuensi kisi sinar-X adalah jumlah lempengan atau banyaknya lempengan timbal tiap inci atau tiap centimeter.



Gambar 2. 12. Jumlah lempengan timbal tiap inchi (Cullinan dan Cullinan, 1980)

Kisi sinar-X dengan frekuensi tinggi menunjukkan garis-garis pada film lebih sedikit daripada kisi berfrekuensi rendah. Jika ketebalan garis-garis tetap, semakin tinggi frekuensi kisi semakin tipis bahan penyela. Frekuensi kisi berkisar antara 60-110 grs/inchi.

Perhitungan frekuensi kisi sinar-X mudah dilakukan jika ketebalan bahan kisi (h) dan ketebalan bahan penyela (x) sudah diketahui. Frekuensi kisi sinar-X dihitung dengan membagi ketebalan pasang garis ($T + D$) yang dinyatakan dengan μm ke dalam 1 cm.

$$\text{Frekuensi kisi sinar-X} = \frac{10.000 \mu\text{m/cm}}{(h + x) \mu\text{m/pasang garis}}$$

Frekuensi kisi yang biasa digunakan adalah antara 60-70 garis/inchi.

2. 6. Kinerja kisi sinar-X

Salah satu faktor penyebab jeleknya kualitas radiograf adalah radiasi hambur. Dengan membuang radiasi hambur dari berkas sinar yang telah menembus obyek menggunakan kisi sinar-X, berarti membuang sumber kekaburan pada radiograf. Kekaburan ini disebut kehilangan kontras, sehingga fungsi pokok dari kisi sinar-X adalah memperbaiki kontras.

2.6.1. Faktor perbaikan kontras

Faktor perbaikan kontras adalah perbandingan antara kontras pada film yang menggunakan kisi sinar-X dengan kontras pada film tanpa menggunakan kisi sinar-X. Faktor perbaikan disimbolkan K.

$$K = \frac{C}{C_0} \quad (2.3)$$

dengan C adalah Kontras radiograf dengan kisi sinar-X dan C_0 adalah Kontras radiograf tanpa kisi sinar-X

Faktor perbaikan kontras dipengaruhi oleh nisbah kisi sinar-X. Semakin tinggi nisbah kisi sinar-X faktor perbaikan kontras juga semakin tinggi.

2.6.2. Faktor Bucky

Meskipun penggunaan kisi sinar-X dapat memperbaiki kontras sehingga juga memperbaiki kualitas gambar, tetapi mengakibatkan dosis radiasi yang diterima pasien bertambah. Jumlah radiasi remnant (semua berkas sinar yang menuju film dari obyek) yang melalui kisi jauh lebih kecil dibanding radiasi remnant yang mencapai kisi sinar-X. Sehingga untuk menghasilkan densitas radiograf yang sama dengan menggunakan kisi, maka faktor eksposi harus ditambah. Jumlah penambahan ditentukan dengan faktor Bucky (B).

$$B = \frac{R_r}{R_t} \quad (2.4)$$

dengan R_r adalah radiasi remnant yang terjadi dan R_t adalah radiasi remnant yang diteruskan.

Faktor Bucky diambil dari mana penemu kisi. Faktor Bucky adalah untuk mengukur penetrasi radiasi primer dan penetrasi radiasi hambur yang melalui kisi.

2.6.3. Selektifitas

Kisi sinar-X ideal seharusnya disusun sedemikian rupa sehingga semua radiasi primer dapat diteruskan dan semua radiasi hambur dapat diserap. Perbandingan antara radiasi primer yang diteruskan dan radiasi hambur yang diteruskan disebut selektivitas kisi, yang disimbolkan dengan Greek sigma (Σ).

$$\Sigma = \frac{T_p}{T_s} \quad (2.5)$$

Dengan T_p adalah prosentase radiasi primer yang diteruskan melalui kisi sinar-X dan T_s adalah prosentase radiasi hambur.

Σ dinilai baik bila prosentase transmisi radiasi primer yang tinggi dan prosentase transmisi radiasi hambur rendah. Σ yang ideal, transmisi radiasi primer yang mencapai film harus lebih besar dari 90 % dan transmisi radiasi hambur yang mencapai film lebih kecil dari 10 %.

Selektivitas dihubungkan dengan radiasi kisi, tetapi berat total Pb kisi mempunyai pengaruh besar terhadap selektivitas. Semakin berat kisi sinar-X

(semakin banyak kadar timbalnya) semakin tinggi selektivitasnya dan semakin efisien dalam memotong radiasi hambur.

2.7. Jarak fokus ke film

Pada nisbah kisi sinar-X yang lebih tinggi penambahan kontasnya akan lebih besar, namun demikian nisbah dapat dianggap sebagai faktor gangguan disemua hal bila fokusnya tidak dapat dipusatkan secara akurat pada garis pertemuan kisi selama pemeriksaan sinar-X, khususnya bila dibuat radiografinya. Perlu diketahui bahwa tidak selalu mungkin untuk memastikan pemusatan fokus yang tepat pada kisi yang tegak lurus ke pusat kisi yang disebabkan karena regiditasnya tidak memadai atau karena penempatan fasilitas penyangga tabungnya tidak benar. Di banyak hal (misalnya pada pemeriksaan sinar-X gastro intestinal) jarak kisi fokus harus diubah-ubah selama flouroskopi sementara radiografinya dilakukan pada jarak tertentu yang bisa jadi menyimpang jauh dari jarak pemfokusan kisinya. Dengan demikian ketika memilih kisi-kisi untuk berbagai kelompok aplikasi, batas-batas pengubahan jarak kisi fokus yang diperbolehkan dan deviasi lateral yang mungkin terjadi pada fokus tabung dari pusat kisi harus diperhatikan agar radiasi primer tidak terlalu terserap karena lewat secara miring melalui celah diantara strip-stripnya. Jelasnya bahwa disini jarak pemfokusan dan khususnya nisbah kisi sinar-X menentukan tingkat *cut off* yang terjadi.

2.8. *Cut off* pada Kisi Sinar-X Linier

Kisi sinar-X linier adalah suatu kisi sinar-X dimana susunan lempengan Pb dengan Al sejajar satu sama lain. Penggunaan kisi sinar-X paralel mempunyai sejumlah kerugian dan satu keuntungan yaitu tidak ada masalah sisi

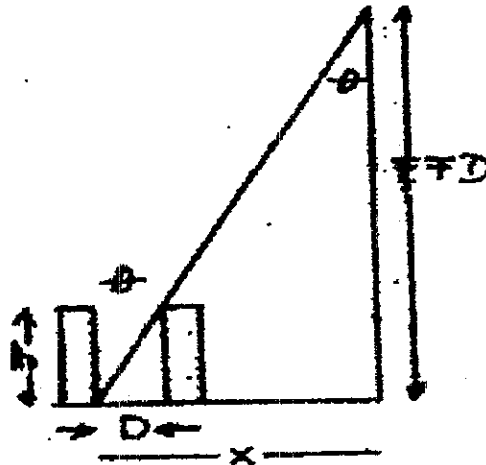
yang mana yang menghadap ke tabung sinar-X. Kerugian dari penggunaan kisi sinar-X paralel adalah dapat terjadinya *cut off* geometrik. *Cut off* geometrik didefinisikan sebagai proporsi berkas primer yang diserap oleh strip-strip timbal. Ditampilkan dalam prosentase, misalnya 12,5 %. Ini menunjukkan jumlah radiasi primer yang hilang sebagai hasil efek geometri dari strip, ketebalan strip, jarak dan ketinggiannya. Kejadian ini dapat dilihat dari arah radiasi pada tepi berkas sinar. Dimana pusat berkas sinar yang paralel dengan strip timbal secara mudah melewati bahan antara dari kisi sinar-X, sedangkan berkas sinar yang menyamping dari tabung sinar-X dan strip-strip timbal akan terhalang. Kondisi ini menghasilkan dua akibat pada radiografi :

- a. Hilangnya densitas sepanjang dua sisi tepi dari film karena penyerapan berkas sinar.
- b. Proyeksi dari strip-strip timbal lebih jelas dari sesungguhnya dan sangat potensial memperlihatkan garis-garis *grid* pada radiografi.

Jumlah *cut off* dapat dikalkulasi, tetapi ukuran jumlah yang sebenarnya tidak dapat diketahui. Jarak terjadinya *cut off* dapat diperlihatkan pada gambar (2-14).

Penggunaan kisi membutuhkan ketepatan pemusatan sinar-X, bila tidak tepat akan menimbulkan hilangnya radiasi primer. Kisi sinar-X *cut off* adalah hilangnya radiasi primer yang terjadi ketika gambaran dari garis-garis Pb pada kisi diproyeksikan lebih besar daripada sebenarnya, sehingga didapat hasil gambaran lebih terang pada daerah yang terjadi *cut off*. Hal ini terjadi karena radiasi primer bergerak dari satu titik ke arah film dan mengenai Pb secara miring film yang disinari dengan radiasi primer akan tertahan ke arah tepi sehingga akan berwarna lebih terang. Dengan menggunakan kisi linier, densitasnya merata

pada keseluruhan film, pada salah satu ujung film atau kedua ujung film tergantung bagian *cut off* yang terjadi diproduksi, dapat diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 13. Terjadinya kehilangan sinar primer yang sempurna (Meredith dan Messey, 1977)

Pada jarak yang cukup besar dari pusat sinar akan terjadi pemotongan sinar primer yang sempurna. Pada gambar tampak bahwa jarak (c) yang diambil dari pusat dimana pemotongan sinar primer yang cukup sempurna terjadi, diperoleh dengan :

$$\tan \theta = \frac{x}{h} = \frac{c}{FFD} \quad (2-6)$$

$$c = \frac{x}{h} \times FFD \quad (2-7)$$

$$c = \frac{FDD}{r} \quad (2-8)$$

dengan FFD adalah jarak fokus ke film (cm), h adalah tinggi lempeng Pb, x adalah jarak antara lempeng Pb, r adalah nisbah kisi sinar-X, c adalah jarak terjadinya pemotongan sinar primer (cm).

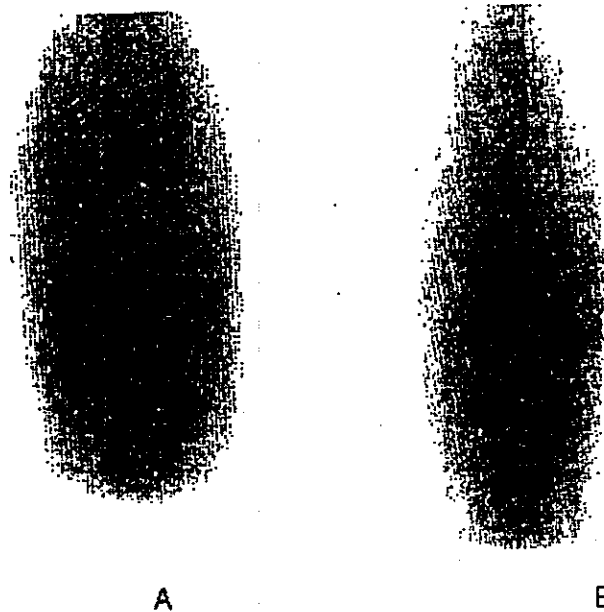
Ada dua hal yang menyebabkan terjadinya *cut off* pada penggunaan kisi sinar-X linier, yaitu :

- a. Jarak fokus ke kisi sinar-X yang kurang tepat.

Penggunaan jarak fokus ke kisi yang kurang tepat akan mengakibatkan terjadinya *cut off*, maka target dari tabung sinar-X harus dengan tepat dipusatkan pada bidang kisi. Kehilangan radiasi primer akan lebih besar pada kesalahan jarak fokus yang pendek dibandingkan dengan penggunaan jarak fokus yang panjang.

Bagian tengah dari film tidak terpengaruh tetapi bagian yang mengarah ke lateral akan lebih terang. Hilangnya berkas sinar yang mengakibatkan ketidakseragaman harus diperhitungkan karena akan menimbulkan garis-garis yang paralel di sepanjang kedua sisi dari garis pusat. Hilangnya radiasi primer sangat berpengaruh pada nisbah dan jarak dari garis pusat.

Pengurangan Intensitas radiasi primer sebanding dengan penurunan nisbah kisi dan sebanding dengan pengurangan jarak pusat sinar dengan kisi. Untuk mengurangi *cut off* biasanya digunakan nisbah kisi yang rendah. Kadang juga digunakan jarak yang panjang atau luas lapangan yang kecil untuk mengurangi pengaruh *cut off*.

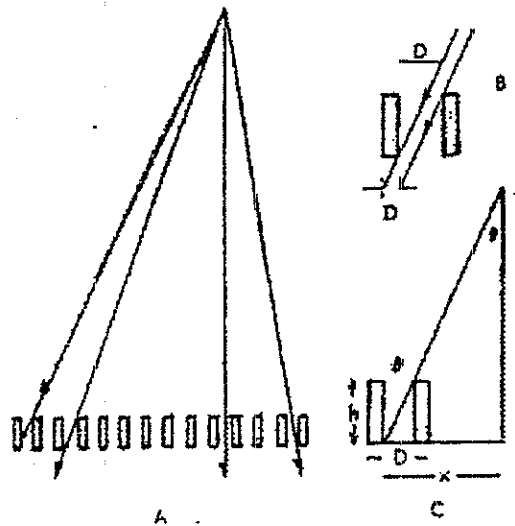


Gambar 2.14. A. Radiografi dengan kisi paralel pada nisbah kisi 6:1, FFD: 76 cm. B. Radiografi dengan kisi paralel pada nisbah kisi 6:1, FFD: 61 cm

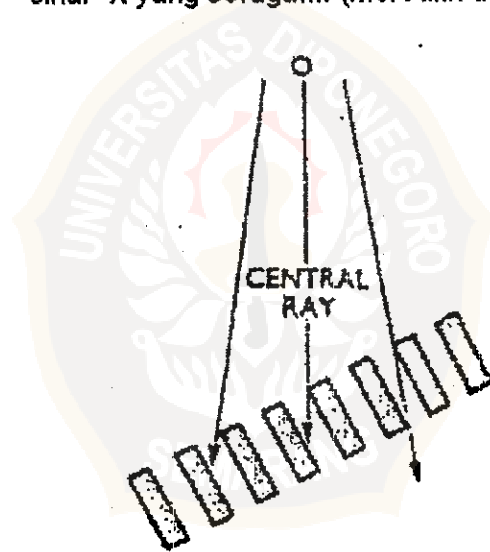
Dari kedua gambar didapat densitas B semakin menurun dari bagian tengah kearah tepi.

b. Pergeseran ke arah lateral

Pergeseran ke arah lateral dihasilkan dari tabung yang diposisikan menyamping tetapi penggunaan jarak fokus film sudah benar. Keseluruhan dari *cut off* pada lempengan timbal sama jumlahnya dengan radiasi primer, sehingga ada keseragaman radiasi yang hilang di atas permukaan kisi sinar-X. Pada gambar radiografi hal tersebut terlihat pada terang yang merata.



Gambar 2.15. Menunjukkan efektivitas bahan antara (Al) dan kemungkinan terjadinya *cut off* kearah tepi pada kisi sinar-X yang seragam. (Meredith dan Messey, 1977)



Gambar 2. 16. *Cut off* dari radiasi primer oleh karena pusat sinar tidak tegak lurus terhadap kisi sinar-X. (Meredith, 1977)