BAB II

DASAR TEORI

2.1. Proses Terjadinya Sinar-X

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang 0.01Å – 10Å. Dengan panjang gelombang yang pendek ini mengakibatkan sinar-X mampu menembus materi yang dilaluinya (Curry et al, 1984). Sinar-X dapat diproduksi dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam tabung vakum sinar katoda. Tegangan yang dipakai untuk mempercepat gerak elektron itu adalah $10^3 - 10^6$ Volt (Akhadi, 2000). Produksi sinar-X yang demikian disebut sinar-X *bremsstrahlung*.Produksi sinar-X yang lain dapat terjadi akibat eksitasi elektron pada kulit atom yang dinamakan sinar-X karakteristik dan biasanya terjadi pada tegangan tabung diatas 70 kV. Proses terjadinya sinar-X dapat dibedakan dua jenis :

2.1.1. Proses Sinar-X *Bremsstrahlung*

Sumber radiasi sinar-X terjadi dalam tabung hampa udara yang berisi filamen sebagai katoda dan sasaran / target sebagai anoda. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik rendah menjadi sumber elektron. Elektron-elektron ini akan ditarik ke arah anoda oleh perbedaan potensial antara anoda dan katoda. Semakin besar beda potensial yang terjadi, semakin cepat elektron-elektron itu menuju sasaran (anoda). Karena elektron-elektron tersebut menabrak sasaran

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

akibatnya terjadi proses perlambatan, sehingga timbul sinar-X yang berspektrum kontinyu. Radiasi sinar-X ini disebut proses *bremsstrahlung* (Wiryosimin, 1995).

2.1.2. Proses Sinar-X Karakteristik

Sinar-X dapat juga terjadi melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar-X yang terjadi melalui proses ini mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Energi sinar-X karakteristik tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$h\nu = E_K - E_L \qquad (2.1)$$

dengan $h\nu$ adalah energi foton sinar-X karakteristik, E_K adalah energi ikat elektron pada kulit K dan E_L adalah energi ikat elektron pada kulit L. Karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda, maka sinar-X yang terbentuk disebut sinar-X karakteristik. Spektrum yang dihasilkan oleh sinar-X karakteristik ini merupakan spektrum garis (Wiryosimin, 1995).

Sinar-X karakteristik ini terjadi karena elektron yang berada pada kulit K terionisasi. Kekosongan elektron pada kulit K ini diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan dipancarkan sinar karakteristik K_α. Jika kekosongan ini diisi oleh

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan sinar-X karakteristik K_β (Akhadi, 2000). Untuk keperluan diagnosa medis, panjang gelombang sinar-X yang dibutuhkan 0,1 – 1Å (Curry et al, 1984).

2.2. Interaksi Radiasi dengan Materi

Ada empat tipe dasar interaksi antara radiasi sinar-X dengan materi, yaitu: hamburan *koheren*, efek fotolistrik, hamburan *Chompton* dan produksi pasangan.

2.2.1. Hamburan Koheren / Klasik

Hamburan koheren terjadi pada foton sinar-X berenergi rendah yaitu di bawah 10 keV. Hamburan koheren adalah hamburan yang terjadi pada saat foton sinar-X berinteraksi dengan materi yang hasilnya hanya akan merubah arah gelombang tanpa merubah energinya. Ada dua jenis hamburan koheren ini yaitu hamburan *Thomson* dan hamburan *Reyleigh.*

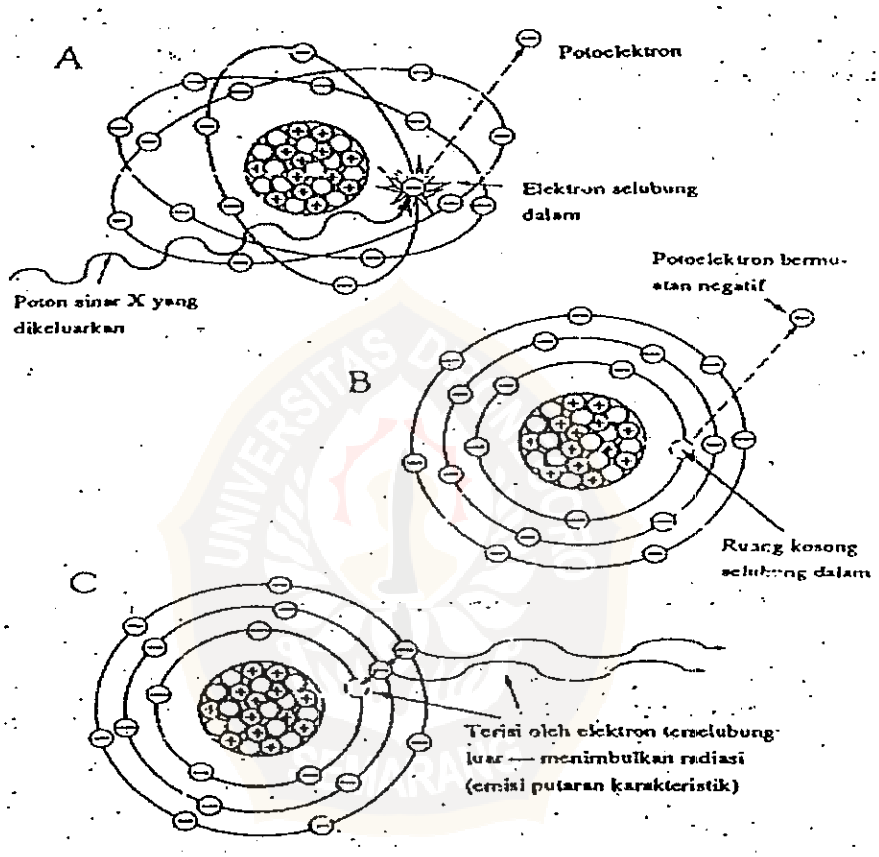
Hamburan *Thomson* terjadi jika interaksi foton hanya melibatkan satu elektron pada suatu atom, sedangkan hamburan *Reyleigh* terjadi jika interaksi foton melibatkan seluruh elektron pada satu atom.

Hamburan koheren ini sedikit sekali pengaruhnya dalam penurunan kualitas radiografi, yaitu hanya sebatas pada kenaikan tingkat kekabutan pada film. Hamburan koheren ini jumlahnya hanya 5 % dari seluruh interaksi pada materi secara umum (Curry et al, 1984).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2.2. Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik merupakan suatu interaksi sebuah foton dan elektron yang terikat dalam atom dengan energi ikat sama dengan atau lebih kecil dari energi foton (Camber, 1983).



Gambar 2.1. Proses terjadinya efek fotolistrik (Edwards, 1990)

Sebuah elektron yang terikat dalam atom dengan energi W jika dikenai foton dengan energi sama dengan atau lebih besar dari W, maka elektron tersebut akan terpental dari orbitnya dan kelebihan energi yang diserap berubah menjadi energi kinetik. Energi kinetik maksimum (K_{max}) yang dimiliki elektron yang terpental tersebut adalah :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$K_{max} = h\nu - W \qquad (2.2)$$

dengan K_{max} adalah energi maksimum elektron terpental, $h\nu$ adalah energi foton dan W adalah energi ikat elektron dalam atom (Krane, 1992).

2.2.3. Hamburan *Chompton*

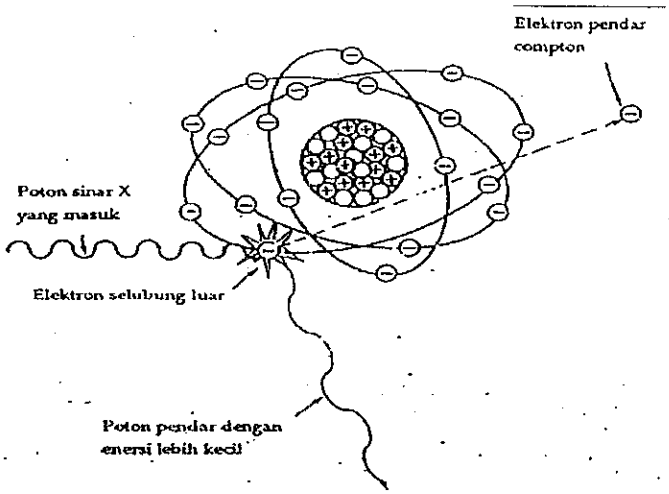
Hamburan *Chompton* terjadi apabila foton sinar-X menumbuk elektron yang semula dalam keadaan diam, kemudian mengalami hamburan dari arah semula, sedangkan elektronnya mulai menerima impuls dan mulai bergerak. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron, sehingga keluar dari atom. Sementara itu sisa energinya dilepaskan kembali dalam bentuk radiasi elektromagnetik (Akhadi, 2000).

Dalam tumbukan ini foton dapat dipandang sebagai partikel yang kehilangan sejumlah energi yang besarnya sama dengan energi kinetik Ek yang diterima oleh elektron. Jika foton semula mempunyai frekuensi ν, maka foton hambur mempunyai frekuensi yang lebih rendah dari ν, sehingga hilangnya energi foton sama dengan energi yang diterima elektron.

$$h\nu - h\nu' = E_k \qquad (2.3)$$

dengan h adalah konstanta Plank ($6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.2. Efek *Compton* (Beiser, 1990)

Dalam hamburan *Compton*, terjadi perubahan panjang gelombang foton datang dan foton terhambur. Foton terhambur mempunyai panjang gelombang lebih panjang dari pada foton datang, yang dinyatakan dalam hubungan:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} \left(1 - \cos \theta \right) \qquad (2.4)$$

dengan λ' adalah panjang gelombang foton terhambur, λ adalah panjang gelombang foton datang, m_0 adalah massa diam elektron, c adalah kecepatan cahaya dan θ adalah sudut hamburan foton.

Kuantitas $h / m_0 c$ disebut panjang gelombang *Compton* (λ_0) dari partikel penghambur. Untuk elektron besarnya adalah 2,426 x 10^{-12} m (Beiser, 1990). Sehingga rumus (2.4) dapat ditulis sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$\lambda' - \lambda = \lambda_0 \, (1 - \cos \theta) \qquad (2.5)$$

Dari perumusan tersebut terlihat bahwa perubahan panjang gelombang *Compton* tidak tergantung pada energi foton datang , tetapi tergantung pada sudut hambur foton (Akhadi, 2000).

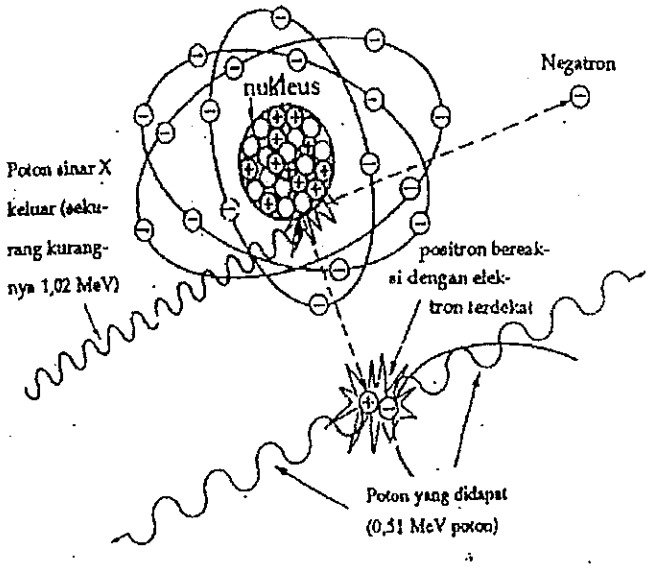
Hamburan *Compton* sangat penting dalam radiologi karena terjadi pada semua sinar-X yang digunakan pada diagnostik. Selain mengakibatkan kabut film pada radiograf, hamburan *Compton* juga menimbulkan efek radiasi yang cukup serius di dalam radiologi khususnya pada penggunaan fluoroskopi (Bushong, 1988).

2.2.4. Produksi Pasangan

Produksi pasangan hanya terjadi apabila energi foton sekunder lebih dari 1,02 MeV. Batas ini jauh lebih besar dari pada energi yang digunakan dalam radiologi diagnostik. Walaupun demikian keterangan tentang produksi pasangan tetap penting untuk menjelaskan tentang interaksi radiasi sinar-X dengan materi.

Foton (seimbang dalam energi sampai sekurang-kurangnya 1,02 MeV) mendekati nukleus atom dan hilang. Energi foton tersebut diubah menjadi dua partikel baru, negatron dan positron. Negatron akan terkombinasi ulang dengan atom yang membutuhkan elektron. Positron berinteraksi dengan elektron di dekatnya dan rusak (reaksi anhilasi *matter – antimater*), mengeluarkan energi dalam bentuk dua foton yang masing-masing memiliki energi 0.51 MeV yang bergerak dengan arah berlawanan.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.3. Produksi pasangan (Edwards, 1990)

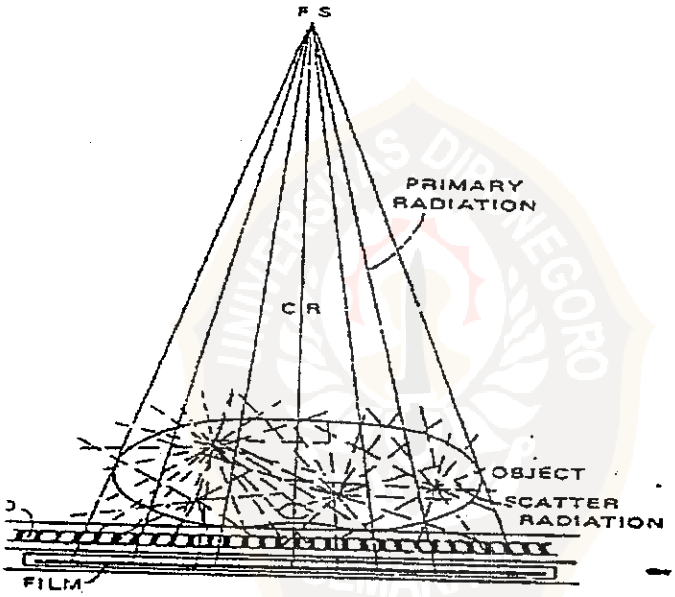
2.3. Produksi Radiasi Hambur

Tidak semua foton yang dipancarkan oleh tabung sinar–X diserap oleh pasien, tetapi sebagian ada yang dihamburkan ke segala arah. Foton radiasi yang dihamburkan akan mengalami pengurangan energi dan daya tembus. Radiasi hambur yang bergerak ke segala arah tersebut ada yang sampai ke film dengan arah yang sama atau berlainan dengan radiasi primer sehingga akan menaikkan densitas film dan menurunkan kontras radiografi (Meredith and Massey, 1977).

Radiasi hambur terjadi karena adanya *Hamburan Klasik / Thomson* yaitu peristiwa yang terjadi ketika foton sinar-X berenergi rendah (kurang dari 10 keV) beriteraksi dengan bahan sehingga atom tereksitasi. Atom secara dini melepaskan energinya dalam bentuk hamburan foton dengan panjang gelombang sama dengan panjang gelombang foton sinar datang dalam arah yang berlawanan (Bushong, 1988).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Radiasi hambur juga disebabkan karena efek *Compton* yang terjadi apabila foton sinar-X menumbuk elektron yang semula dalam keadaan diam kemudian mengalami hamburan dari arah semula, sedangkan elektronnya menerima impuls dan mulai bergerak. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron sehingga keluar dari atom. Sementara itu sisa energinya dilepaskan kembali dalam bentuk radiasi elektromagnetik (Akhadi, 2000).



Gambar 2.4. Produksi radiasi hambur (Hill et al, 1975)

2.4. Pengaruh Radiasi Hambur Terhadap Kontras Radiograf

Radiasi yang mengenai dan menghitamkan film terdiri dari radiasi primer dan radiasi sekunder. Radiasi primer bergerak lurus ketika menembus jaringan tubuh tanpa berubah arah tetapi dengan intensitas radiasi yang berkurang. Radiasi primer ini akan membentuk pola sesuai dengan jaringan tubuh yang ditembusnya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Sedangkan radiasi hambur yang mencapai film akan menghitamkannya dengan pola yang tidak beraturan, sehingga menaikkan densitas dan menurunkan kontras radiograf (Meredith et al, 1977).

2.5. Pengendalian Radiasi Hambur

Jumlah radiasi hambur yang dihasilkan dipengaruhi oleh (Meredith and Massey, 1977):

a. Energi Foton Sinar-X

Semakin tinggi energi foton sinar-X, jumlah radiasi yang dihamburkan akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena tidak semua radiasi foton diteruskan atau diserap oleh jaringan obyek tetapi ada sebagian yang dihamburkan ke segala arah dengan energi dan daya tembus yang semakin berkurang.

b. Ukuran Berkas Sinar-X

Semakin luas ukuran berkas sinar-X yang dipergunakan, semakin besar jumlah radiasi foton yang dihamburkan.

c. Volume Jaringan yang Disinari

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

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Produksi radiasi hambur dapat dikurangi atau dikendalikan dengan cara:

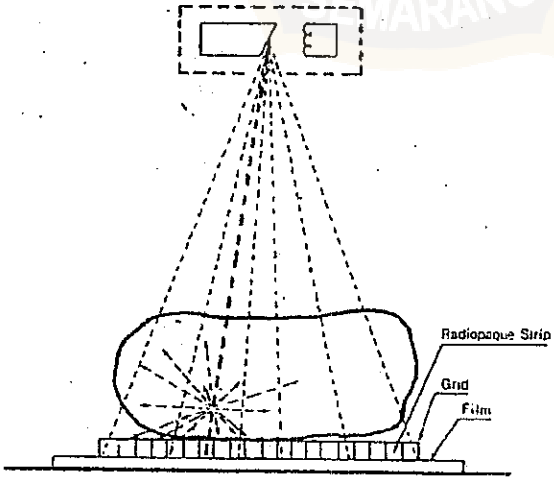
a. Penggunaan energi radiasi secara tepat.

b. Pembatasan luas lapangan penyinaran.

c. Kompresi pada jaringan tubuh yang tebal.

2.6. *Grid*

Grid adalah salah satu aksesoris radiografi yang berfungsi untuk menyerap radiasi hambur dan meneruskan radiasi primer dan membantu meningkatkan kontras radiografi. *Grid* berbentuk lembaran yang tersusun dari sejumlah lempengan timbal yang memanjang dan sejajar satu dengan yang lainnya dengan suatu bahan pemisah tiap lempengan timbal terbuat dari bahan tembus sinar-X. *Grid* yang baik dapat menyerap radiasi hambur antara 80% sampai dengan 90% (Bushong, 1988).



Gambar 2.5. Penggunaan *grid* untuk mengurangi radiasi hambur
(Hill et al, 1975)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Grid diletakkan diantara jaringan tubuh yang akan difoto dengan film radiografi. Dengan demikian, radiasi hambur yang arahnya menyudut akan diserap oleh *grid* sebelum mencapai film (Bushong, 1988).

Grid dalam penggunaannya mempunyai dua fungsi utama yaitu menyerap atau mengurangi radiasi hambur sehingga tidak mencapai film radiograf dan meneruskan radiasi primer melalui *interspase* material *grid.* Prinsip kerja *grid* adalah menyerap radiasi hambur yang membentuk sudut dengan garis lempengan oleh material timbal *grid,* sedangkan yang arahnya sejajar dengan bahan penyela (*interspace*) akan diteruskan ke film. Jumlah radiasi hambur yang diteruskan ke film tentunya akan semakin berkurang sesuai dengan rasio *grid.*

2.6.1. Jenis-Jenis Grid

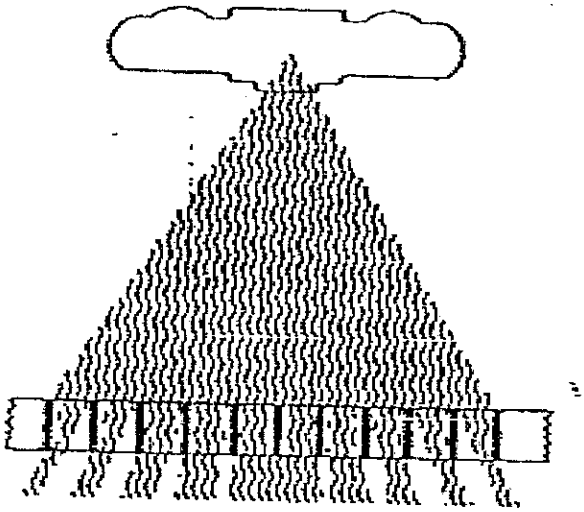
2.6.1.1. Jenis-jenis *grid* menurut strukturnya

Jenis-jenis *grid* menurut strukturnya terdiri dari: *grid linear*, *grid* fokus, *grid* fokus semu dan *grid* silang.

2.6.1.1.1. *Grid* Linier

Grid linier adalah *grid* yang mempunyai susunan lempengan timbal paralel satu sama lainnya. Jenis grid ini menghasilkan densitas yang tidak sama dari sisi tengah ke tepi film karena adanya *cut off* geometric. Nilai densitas tertinggi di bagian tengah , sedangkan terendah berada di tepi film (Curry et al, 1984).

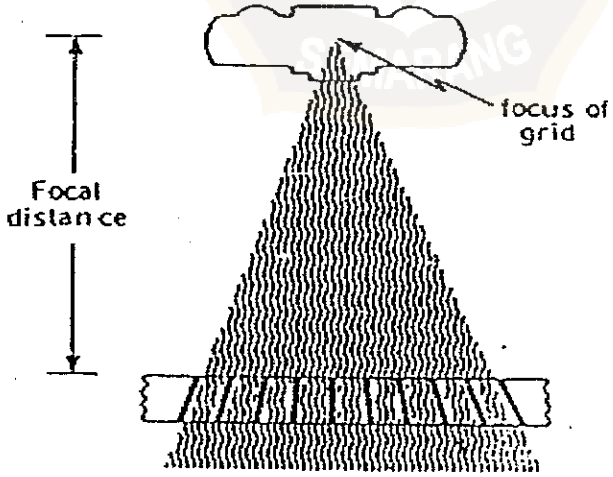
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.6. Grid jenis linier (Carlton et al, 1992)

2.6.1.1.2. *Grid* Fokus

Grid fokus adalah *grid* dengan susunan lempengan dari tepi ke tengah seolah-olah terpusat menuju ke satu titik atau fokus.



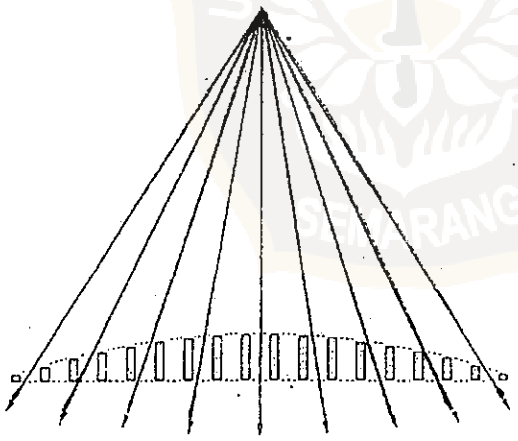
Gambar 2.7. *Grid* jenis fokus (Carlton et al, 1992)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Grid jenis ini dapat mengurangi terjadinya *cut off* geometri yaitu hilangnya radiasi primer yang disebabkan karena garis-garis timbal pada *grid* diproyeksikan lebih besar dari sebenarnya sehingga menghasilkan radiograf yang lebih terang. Akan tetapi penggunaan grid fokus ini hanya untuk jarak fokus dengan film tertentu dan tidak boleh dipasang terbalik.

2.6.1.1.3. *Grid* Fokus Semu

Grid fokus semu yaitu *grid* yang jenisnya seperti *grid linear* tetapi tinggi lempengan timbal dari tepi ke tengah semakin panjang. Susunan seperti ini bertujuan untuk mengurangi timbulnya *cut off* geometri sehingga diharapkan intensitas radiasi primer sama pada semua lapangan penyinaran.

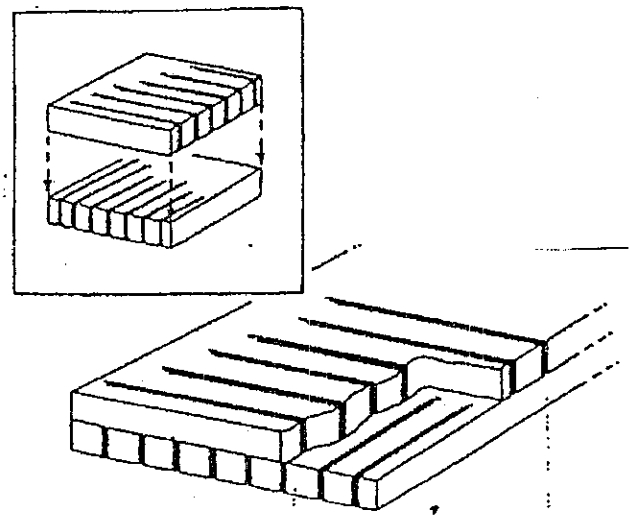


Gambar 2.8. *Grid* jenis fokus semu (Meredith et al, 1977)

2.6.1.1.4. *Grid* Silang

Grid silang yaitu *grid* yang mempunyai susunan lempengan timbal tegak lurus satu sama lain dari dua buah *grid linear* yang ditumpuk menyilang.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.9. *Grid* jenis silang (Bushong et al, 1988)

2.6.1.2. Jenis *grid* menurut pergerakan

2.6.1.2.1. *Grid* diam

Grid diam dikenal juga dengan nama *Lysolm.* *Grid* ini bekerja tanpa bergerak pada waktu penyinaran. Keuntungannya dapat dipindah sesuai kebutuhan, tetapi radiograf yang dihasilkan menampakkan garis-garis lempengan timbal.

2.6.1.2.2. *Grid* bergerak (*moving grid*)

Sesuai namanya, *grid* ini selalu bergerak sewaktu dilakukan penyinaran. Pergerakannya dikendalikan dengan kontrol panel tersendiri. Tujuan pergerakan ini untuk menghilangkan bayangan garis-garis timbal penyusun *grid.* *Grid* jenis ini memiliki keterbatasan karena tidak bisa dipindahkan secara bebas. *Grid* bergerak disebut juga dengan nama *Bucky.*

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.6.2. Karakteristik *grid*

Karakteristik *grid* meliputi : rasio *grid*, kadar timbal, bahan penyela dan frekuensi *grid*.

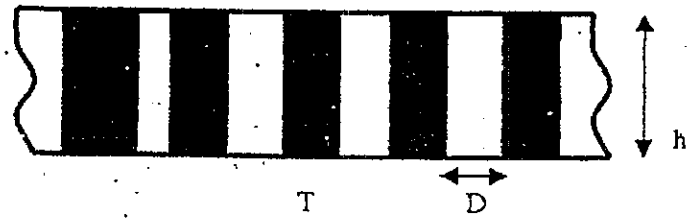
2.6.2.1. Rasio *Grid*

Rasio *grid* adalah perbandingan antara tinggi lempengan timbal penyusun *grid* dengan jarak antara bahan penyela. Penulisan rasio *grid* dengan dua nomor, yaitu nomor pertama menandakan rasio yang sebenarnya, sedangkan nomor kedua menandakan faktor pembanding yang selalu bernilai satu. Rasio *grid* sangat menentukan kemampuan penyerapan radiasi hambur. Semakin tinggi rasio *grid*, semakin tinggi pula kemampuannya dalam menyerap radiasi hambur.

Rasio *grid* dituliskan dengan :

$$r = \frac{h}{D} \qquad (2.6)$$

dengan r adalah rasio *grid*, h adalah tinggi lempengan bahan penyerap (timbal) dan D adalah jarak antara lempengan timbal atau tebal lempengan aluminium penyusun *grid* (Meredith dkk, 1977).



Gambar 2.1.0. Rasio *Grid* (Meredith et al, 1977)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.6.2.2. Kadar Timbal

Kadar timbal adalah berat timbal dalam 1 cm^2 pada setiap *grid*. Kadar timbal per satuan luas adalah faktor yang menentukan efisiensi dari *grid*. Kadar timbal yang dipakai biasanya antara 0,2 gr / cm sampai 0,9 gr / cm. Semakin tinggi kadar timbalnya semakin tinggi kemampuan *grid* dalam menyerap radiasi hambur.

2.6.2.3. Bahan Penyela

Setiap lempengan timbal pada *grid* dipisahkan oleh bahan penyela yang satu sama lain letaknya sejajar. Bahan penyela tersebut biasanya terbuat dari aluminium atau fiber.

Bahan penyela berfungsi untuk meneruskan radiasi primer dan menyerap radiasi hambur yang searah dan sejajar dengan radiasi primer.

2.6.2.4. Frekuensi *Grid*

Grid tersusun atas lempengan-lempengan timbal dan bahan penyela (*interspace*) antar timbal. Banyaknya lempengan tiap inchi atau centimeter disebut dengan *frekuensi grid*. Semakin tinggi frekuensi *grid* maka semakin tinggi faktor paparan radiasi yang dibutuhkan.

Frekuensi *grid* yang biasa dipakai adalah 25 sampai dengan 45 lempengan tiap centimeter. Untuk mendapatkan nilai frekuensi *grid* dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$fg = \frac{10.000 \ \mu m / cm}{(T + D) \ \mu m / \ pasang \ garis} \qquad (2.7)$$

dengan fg adalah frekuensi *grid*, T adalah tebal lempengan timbal, dan D adalah tebal bahan penyela *(interspace)* (Bushong, 1988).

2.6.3. Mekanisme Kerja *Grid*

Penggunaan *grid* bertujuan untuk menyerap radiasi hambur sebelum mencapai film. *Grid* yang ideal akan menyerap seluruh radiasi hambur tanpa menyerap radiasi primer, tetapi bagaimanapun juga tidak ada *grid* yang ideal. Untuk itu ada beberapa cara untuk mengetahui mekanisme kerja *grid* yaitu :

2.6.3.1. Faktor perbaikan nilai kontras

Faktor perbaikan nilai kontras adalah perbandingan antara kontras radiograf menggunakan *grid* dengan kontras radiograf tanpa menggunakan *grid.*Faktor perbaikan nilai kontras dirumuskan dengan persamaan :

$$K = \frac{C}{Co} \qquad (2.8)$$

dengan K adalah faktor perbaikan nilai kontras radiograf, C adalah kontras radiograf dengan *grid*, Co adalah kontras radiograf tanpa *grid.* Semakin tinggi rasio *grid* yang dipakai, faktor perbaikan kontras akan semakin tinggi.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Faktor perbaikan kontras radiograf ini tergantung pada tegangan tabung yang diberikan , luas penyinaran dan ketebalan obyek penyinaran (Curry dkk, 1984).

2.6.3.2. Faktor *Bucky*

Faktor *Bucky* adalah perbandingan antara radiasi yang langsung mengenai *grid* dengan radiasi yang ditransmisikan melewati *grid*. Faktor *Bucky* menyatakan besarnya faktor eksposi yang harus ditambahkan saat beralih dari teknik tanpa *grid* diganti dengan menggunakan *grid*. Faktor *Bucky* juga menunjukkan besarnya peningkatan dosis radiasi yang diterima pasien. Semakin tinggi faktor *Bucky* maka semakin tinggi faktor eksposi dan dosis yang diterima oleh pasien. Untuk mempertahankan nilai densitas pada film akibat pemakaian *grid* ini, maka perlu ditambahkan faktor *Bucky* (B), yang dirumuskan dengan:

$$B = \frac{Ir}{It} \qquad (2.9)$$

dengan Ir adalah intensitas radiasi sebelum terserap *grid* dan It adalah intensitas radiasi setelah terserap *grid* (Curry dkk, 1984).

2.6.3.3. Selektivitas *Grid*

Selektivitas *grid* adalah perbandingan antara radiasi primer yang diteruskan dengan radiasi hambur yang ikut diteruskan. Faktor selektivitas (S) dirumuskan dengan :

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$S = \frac{Tp}{Ts} \qquad (2.10)$$

dengan S faktor selektifitas *grid*, Tp adalah transmisi radiasi primer yang diteruskan melalui *grid*, Ts adalah transmisi radiasi hambur yang ikut diteruskan melalui *grid*. Selektivitas *grid* dipengaruhi oleh kadar timbal yang menyusun *grid*. Semakin tinggi kadar timbal yang dikandung, semakin tinggi selektivitas *grid* dan semakin tinggi pula kemampuan *grid* dalam menyerap radiasi hambur.

2.6.3.4. Transmisi Primer

Transmisi primer adalah pengukuran persentase radiasi primer yang melewati *grid*. Idealnya sebuah *grid* akan melewatkan 100% radiasi primer. Pengukuran transmisi primer dilakukan dengan dua cara, yaitu meletakkan detektor setelah *grid* untuk mengetahui intensitas radiasi yang melewati *grid* dan meletakkan detektor di atas *grid* untuk mengetahui intensitas yang mengenai *grid*. Persentase nilai transmisi primer ditentukan dengan :

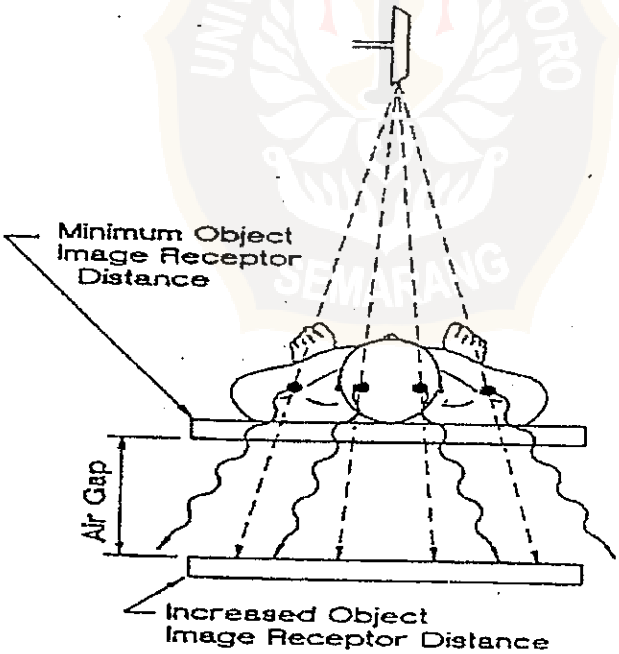
$$T_p = \frac{I_p}{I'_p} \times 100\ \% \qquad (2.11)$$

dengan T adalah transmisi primer dalam %, I_p adalah intensitas dengan *grid* dan I'_p intensitas tanpa *grid* (Curry et al, 1984).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.7. Teknik Celah Udara

Tehnik penyinaran celah udara (*air gap technique*) adalah teknik penyinaran terhadap obyek yang dilakukan dengan cara membuat jarak tertentu antara obyek dengan film, sehingga diharapkan radiasi hambur yang mencapai film berkurang. Celah udara antara obyek dengan film berkisar antara 10 sampai 15 cm. Dengan adanya jarak antara obyek dengan film, maka diharapkan radiasi hambur yang energinya rendah akan melemah dan tidak sampai ke film, konsekuensinya akan terjadi pembesaran (magnifikasi) dan kekaburan bayangan obyek pada radiografnya. Dalam aplikasinya, pembesaran bayangan radiograf tetap bisa diterima khususnya pada radiografi daerah torak dan angiografi serebral (Bushong, 1988).



Gambar 2.11. Teknik celah udara untuk mengurangi radiasi hambur (Carlton et al, 1992)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.7.1. Pengaruh Celah Udara Terhadap Kontras Radiografi

Karena obyek (pasien) merupakan sumber utama adanya radiasi hambur maka dengan teknik celah udara yaitu dengan memberi jarak tertentu antara pasien dengan film, akan mengurangi jumlah radiasi hambur yang mencapai film selama penyinaran. Dengan demikian, akan terjadi perbaikan kontras tanpa menggunakan *grid* (Carlton, 1992).

Secara umum dengan mempertimbangkan faktor teknis sama, pemakaian teknik celah udara 10 sampai 15 cm setara dengan *grid* rasio 7 : 1(Bushong, 1988).

Gould dan Hale menilai adanya perbaikan kontras yang setara antara celah udara 25 cm dengan *grid* rasio 15 : 1 untuk ketebalan obyek 10 cm. Selanjutnya untuk ketebalan obyek yang lebih besar (20 cm) penggunaan grid rasio 15 : 1 lebih efektif mengurangi radiasi hambur dibandingkan dengan celah udara (Carlton, 1992).

2.8. Magnifikasi dan Distorsi

2.8.1. Magnifikasi

Magnifikasi radiograf adalah perubahan ukuran bayangan obyek yang lebih besar dari keadaan sebenarnya. Faktor pembesaran (*magnification factor* / MF) dituliskan dengan :

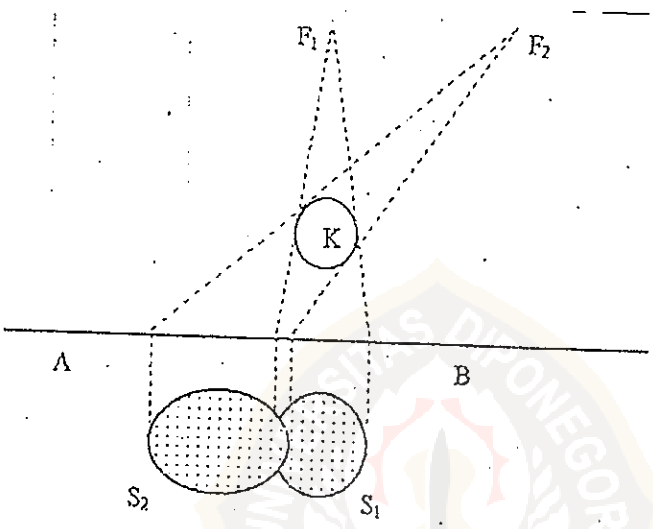
$$MF = \frac{SID}{SOD} \qquad (2.12)$$

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

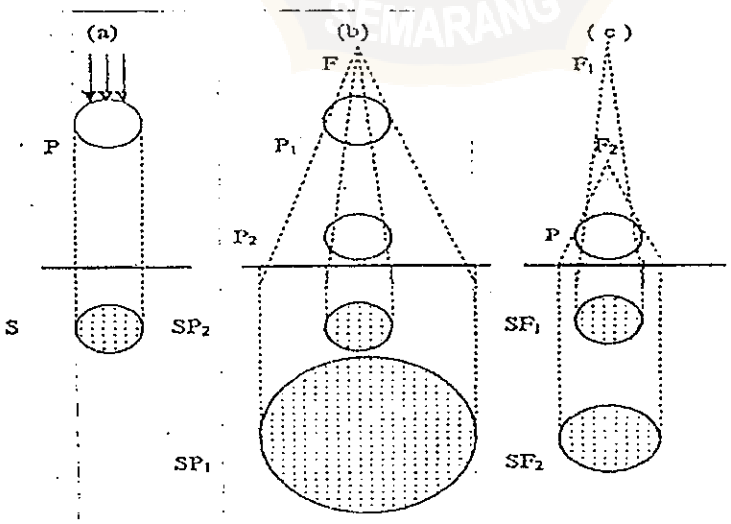
dengan SID adalah jarak fokus ke film dan SOD adalah jarak obyek ke fokus.

2.8.2. Distorsi

Distorsi radiograf adalah penyimpangan bayangan dari obyek yang berupa penyimpangan bentuk dan ukuran obyek dari keadaan yang sebenarnya.

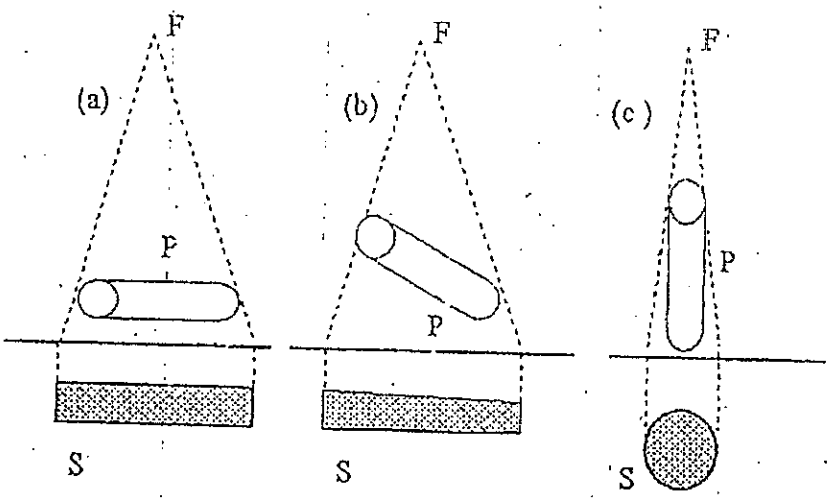


Gambar 2.12. Distorsi karena perubahan posisi tabung sinar-X (Meredith et al, 1977)



Gambar 2.13. Distorsi karena perubahan letak obyek pada bola pejal (Meredith et al, 1977)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.14. Distorsi karena perubahan posisi obyek pada silinder
(Meredith et al, 1977)

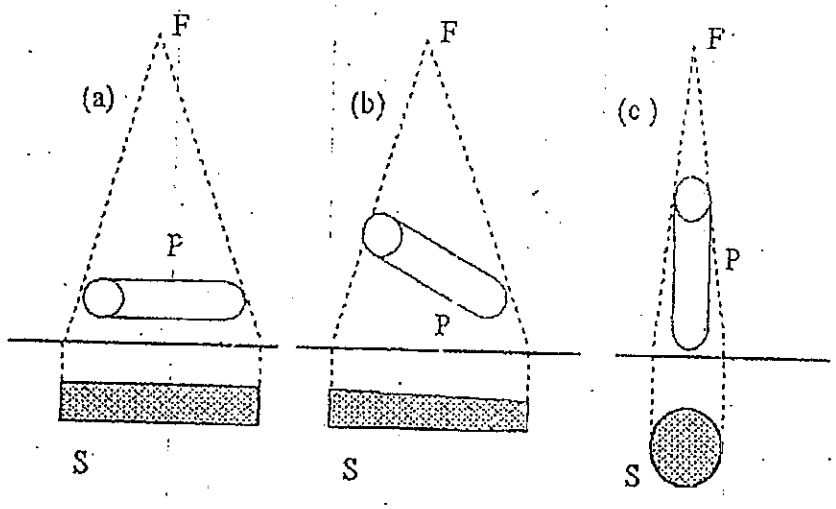
Distorsi radiograf diakibatkan oleh : perubahan posisi tabung sinar-X, posisi obyek yang tidak simetris dan letak film yang tidak tegak lurus dengan arah jatuhnya sinar-X. Distorsi radiografi dapat menurunkan kualitras gambar.

Distorsi karena bentuk dan posisi obyek dapat diminimalisir dengan pemakainan jarak titik fokus ke film yang besar dan jarak obyek ke film kecil serta berkas sinar-X tegak lurus terhadap film.

2.9. Kualitas Radiograf

Kualitas radiograf merupakan kemampuan radiograf untuk memberikan informasi yang jelas mengenai obyek yang diperiksa (Curry et al, 1984). Kualitas radiograf ditentukan oleh: densitas radiograf, kontras radiograf, ketajaman dan detil (Bushong,1988) .

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.14. Distorsi karena perubahan posisi obyek pada silinder
(Meredith et al, 1977)

Distorsi radiograf diakibatkan oleh : perubahan posisi tabung sinar-X, posisi obyek yang tidak simetris dan letak film yang tidak tegak lurus dengan arah jatuhnya sinar-X. Distorsi radiografi dapat menurunkan kualitras gambar.

Distorsi karena bentuk dan posisi obyek dapat diminimalisir dengan pemakainan jarak titik fokus ke film yang besar dan jarak obyek ke film kecil serta berkas sinar-X tegak lurus terhadap film.

2.9. Kualitas Radiograf

Kualitas radiograf merupakan kemampuan radiograf untuk memberikan informasi yang jelas mengenai obyek yang diperiksa (Curry et al, 1984). Kualitas radiograf ditentukan oleh: densitas radiograf, kontras radiograf, ketajaman dan detil (Bushong,1988) .

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

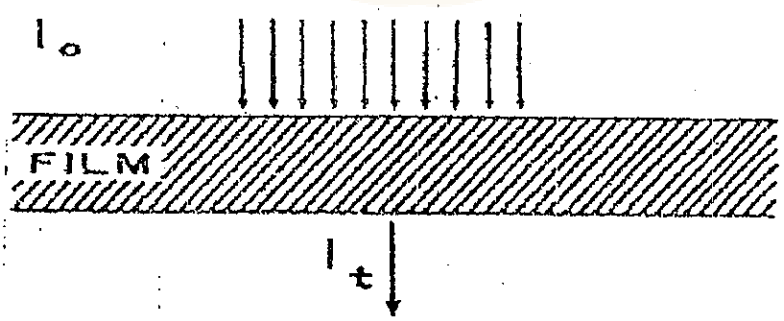
2.9.1. Densitas Radiograf

Densitas radiograf adalah tingkat kehitaman suatu radiograf yang dirumuskan :

$$D = \log \frac{I_0}{I_t} \qquad (2.13)$$

dengan D adalah densitas radiograf, I_0 intensitas radiasi yang datang dan I_t adalah intensitas radiasi yang diteruskan. Densitas radiograf dapat diatur dengan dua faktor utama yaitu intensitas total (mAs) dan jarak sumber sinar dengan film (FFD). Penambahan intensitas akan meningkatkan densitas sedangkan penambahan jarak antara sumber sinar dengan film menurunkan densitas.

Densitas dalam radiografi berkisar antara skala 0 sampai 4 (Curry et al, 1984) sedangkan rentang densitas guna dalam radiodiagnostik berkisar antara 0,25 - 2,0 (Meredith and Massey, 1977)



Gambar 2.15. Densitas radiografi (Curry et al, 1984)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.9.2. Kontras

Kontras adalah perbedaan tingkat kehitaman antara bagian satu dengan bagian lain dalam suatu radiograf (Curry et al, 1984) yang dirumuskan:

$$C = D_2 - D_1 \qquad (2.14)$$

dengan C adalah kontras radiograf, D_2 adalah densitas radiograf pada daerah 2 dan D_1 adalah densitas radiograf pada daerah 1. Secara garis besar kontras dibedakan menjadi dua yaitu kontras subyektif dan kontras obyektif.

2.9.2.1. Kontras Subyektif

Kontras subyektif adalah kontras yang dipengaruhi oleh penglihatan, sehingga masing-masing orang berbeda tergantung dari kemampuan mata pengamat. Kontras ini sangat dipengaruhi oleh pencahayaan ruangan, pengaturan terang, dan keseragaman warna kotak pencahayaan film.

2.9.2.2. Kontras Obyektif

Kontras obyektif adalah kontras radiograf yang didapatkan melalui pengukuran dengan alat densitometer. Kontras obyektif terdiri dari kontras radiasi, kontras film dan kontras radiografi.

Kontras radiasi merupakan perbandingan logaritma antara intensitas radiasi yang diteruskan oleh bagian obyek tertentu dengan intensitas radiasi yang diteruskan bagian obyek yang berada di sekitarnya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

$$Kontras\ radiasi = \log \frac{I_2}{I_1} \qquad (2.15)$$

dengan I_2 adalah intensitas radiasi yang diteruskan oleh obyek 2 dan I_1 intensitas radiasi yang diteruskan oleh obyek 1. Kontras radiasi dipengaruhi oleh tingkat energi sinar-X, ketebalan obyek dan nomor atom tiap bagian obyek yang ditembus oleh sinar-X.

Kontras film adalah gradien rata-rata dari kurva karakteristik film yang menunjukkan respon film terhadap perbedaan intensitas yang dihasilkan oleh kontras radiasi.

Kontras radiografi adalah perbedaan tingkat kehitaman dari dua daerah yang berbeda. Kontras radiografi tergantung pada kontras radiasi dan kontras film (Chesney, 1981).

2.9.3. Ketajaman

Ketajaman radiografi adalah tebal batas peralihan antara dua bagian yang berbeda kehitamannya. Ketajaman tergantung pada kontras radiograf, jika kontras radiograf tinggi maka ketajaman juga tinggi, demikian juga sebaliknya (Meredith et al, 1977).

Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap ketajaman radiograf meliputi:

1. Faktor geometri, yaitu ukuran fokus dan jarak penyinaran. Ukuran fokus dan jarak penytinaran yang tidak tepat akan menimbulkan magnifikasi geometri.
2. Faktor pergerakan, meliputi gerakan obyek, tabung sinar-X dan film radiograf.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

3. Faktor lembar penguat, yaitu kecepatan lembar penguat. Semakian tinggi kecepatannya maka semakin banyak cahaya yang dipendarkan sehingga akan menurunkan ketajaman.

4. Faktor *parallax* film, yaitu pengaruh ketebalan film. Semakin tebal film, akan menurunkan ketajaman radiograf, terutama film dengan dua emulsi pada kedua sisinya.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)