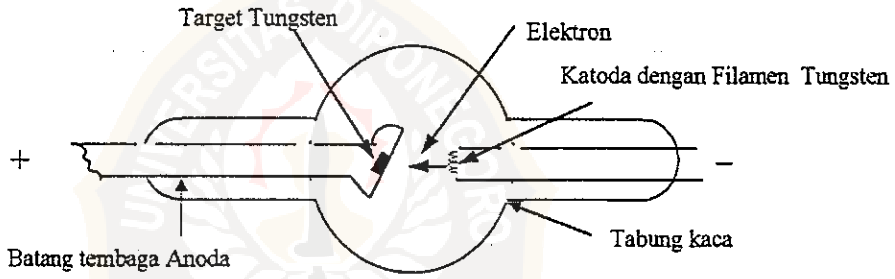
BAB II

DASAR TEORI

2.1.Tabung Diagnostik Sinar-X

Sinar-X diproduksi sebagai akibat dari tumbukan berkas-berkas elektron yang dihasilkan dari kotoda dan dipercepat dengan beda potensial yang tinggi dengan logam berat bidang target di anoda. Tabung sinar-X terbuat dari gelas *pyrex* ruang hampa udara yang berisi dua buah elektroda (tabung dioda).



Gambar 2.1. Komponen utama anoda diam tabung sinar-X (Curry, 1990)

Elemen-elemen penting tabung Roentgen antara lain :

- Sumber elektron berupa kawat pijar atau filamen yang apabila dipanaskan oleh arus listrik akan mengeluarkan elektron-elektron.
- Tegangan tinggi (*high voltage*) untuk mempercepat gerakan elektron dengan kecepatan tinggi.
- Tabung hampa udara tempat dimana elektron-elektron dapat dipercepat gerakannya.

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)

- Target adalah suatu tempat tumbukan elektron-elektron yang terdapat pada anoda.

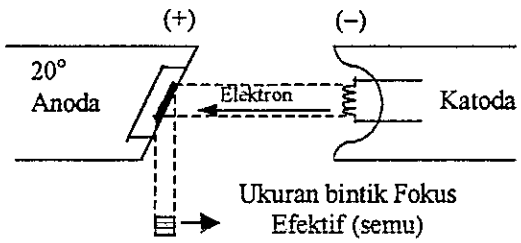
2.1.1. Anoda

Anoda adalah elektroda positif dan dilengkapi dengan daerah tumbukan elektron atau disebut juga dengan bidang target. Kebanyakan pada tabung sinar-X, anoda terbuat dari bahan tungsten karena titik leburnya yang tinggi ± 3370° C (Curry, dkk. 1990).

2.1.2. Bintik Fokus (*Focal Spot*)

Bintik fokus adalah bagian dari target tungsten di anoda, dan merupakan daerah tumbukan elektron dari katoda untuk sekali waktu tumbukan. Ukuran dan bentuk bintik fokus ditentukan oleh arus elektron yang menumbuk anoda pada permukaan bidang target yang letaknya miring. Sudut anoda berbeda-beda besarnya tergantung dari disain tabung sinar-X dan kemiringannya bervariasi antara 6° s/d 20° (Curry,dkk. 1990). Karena penyudutan ini, permukaan bintik fokus yang letaknya miring akan tampak dipendekkan bila dilihat dari arah datangnya sinar, biasa disebut sebagai bintik fokus efektif atau semu dan ukurannya lebih kecil bila dibandingkan dengan ukuran bintik fokus yang sebenarnya. Ukuran bintik fokus efektif biasanya menggunakan ukuran 0.3, 0.6, 1.0, 1.2 dan 2.0 mm (Curry,dkk. 1990).

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. Prinsip garis fokus (Curry, 1990)

2.2. Diafragma Kolimator (Pembatas Berkas Sinar-X)

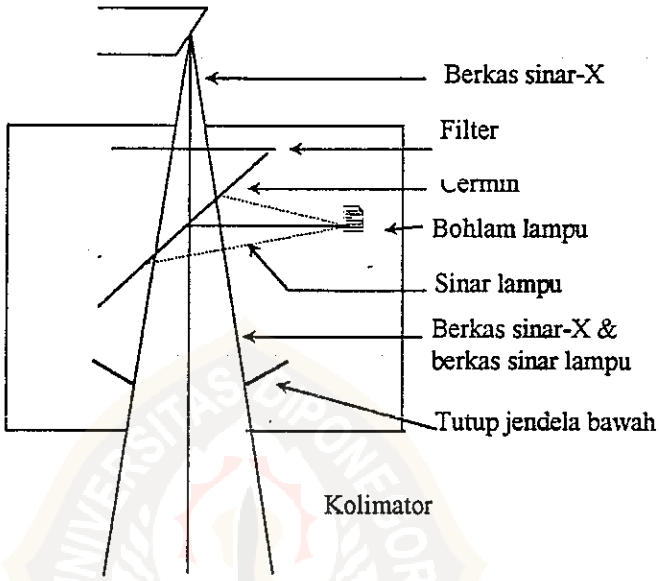
Diafragma kolimator adalah alat pembatas berkas sinar-X yang ditempatkan pada pembuka pertama pada wadah tabung sinar-X, gunanya untuk mengatur ukuran dan bentuk berkas sinar-X yang keluar dari tabung sinar-X.

Pada kolimator ada dua set tutup jendela terbuat dari Pb yang letaknya tegak lurus satu sama lain, bergerak dalam arah yang berlawanan secara bersama-sama dan gunanya untuk mengontrol dimensi berkas sinar-X dan menghilangkan penumbra yang terjadi. Jika tutup jendela ditutup, maka kedua tutup jendela bertemu pada pusat berkas sinar-X. Berkas sinar lampu yang ada didalam kolimator akan dipantulkan oleh cermin yang dihadapkan pada celah berkas sinar-X dengan sudut 45°. Peralatan yang ada di dalam kolimator harus diatur sedemikina rupa sehingga berkas sinar-X dan berkas sinar lampu kolimator tepat berjarak sama dari pusat cermin.

Kolimator dapat mengidentifikasi pusat berkas sinar-X, dengan cara menggambar garis kedua diagonal pada lembaran plexi glass yang

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)

terdapat pada ujung kolimator dan titik pusat garis diagonal tersebut biasanya disebut sebagai titik pusat penyinaran (*Center Point*) pada suatu obyek pemotretan (Curry,dkk. 1990).



Gambar 2.3. Berkas sinar lampu dan berkas sinar-X pada kolimator (Curry,dkk. 1990)

2.3 Interaksi Sinar-X dengan Bahan

Intensitas berkas sinar-X akan mengalami pengurangan pada waktu sinar-X menembus bahan. Pengurangan intensitas berkas sinar-X oleh suatu bahan tergantung pada nomor atom bahan, energi berkas dan ketebalan bahan (Cember, 1983). Hubungan antara intensitas yang diteruskan (I_x) dengan intensitas semula (I_0) dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini :

$$I_x = I_0 e^{(-\mu X)} \qquad (2.1)$$

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 I_x adalah intensitas setelah menembus bahan, I_0 adalah intensitas sebelum menembus bahan, μ adalah koefisien atenuasi linier dan x adalah tebal bahan yang ditembus.

Tiga proses yang akan terjadi apabila sinar-X mengenai suatu bahan (Cember, 1983) yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan.

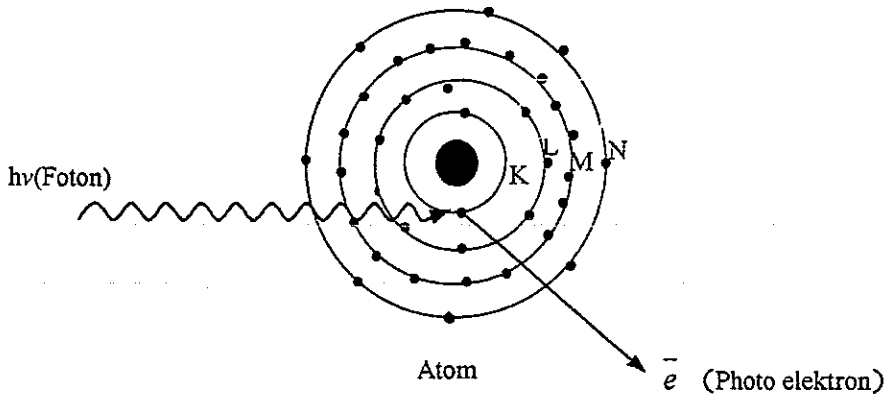
2.3.1. Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah interaksi antara foton dengan elektron yang terikat. Pada peristiwa ini energi radiasi terserap seluruhnya, sebagian untuk melepaskan elektron dari orbitnya dan sebagian lagi dari tenaga radiasi diberikan kepada elektron tersebut dalam bentuk energi kinetik. Proses ini terjadi pada energi radiasi yang relatif rendah ± 50 keV. Foton berenergi rendah akan berinteraksi dengan elektron orbit luar atom, sedangkan foton berenergi tinggi akan berinteraksi dengan elektron dari orbit dalam. Energinya dinyatakan dalam sebuah persamaan :

$$E = h\nu - \varphi \qquad (2.2)$$

Dengan E adalah energi kinetik elektron, h adalah konstanta Plank, ν adalah frekuensi dan φ adalah energi ikat elektron.

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 2.4. Efek Fotolistrik (Khan, 1992)

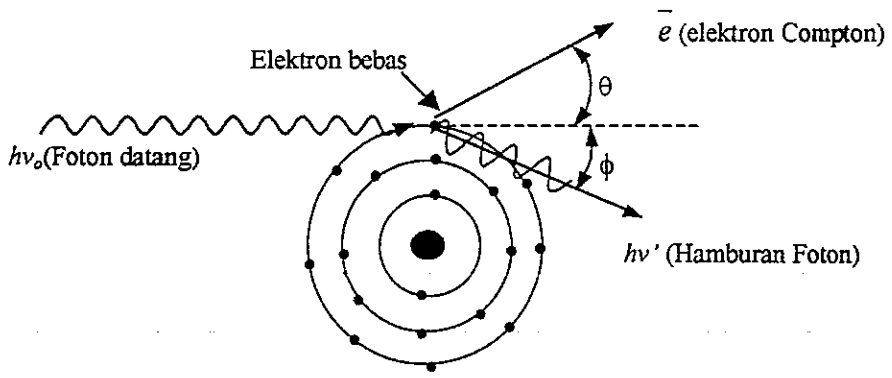
2.3.2. Efek Compton

Peristiwa ini terjadi bila foton sinar-X menumbuk elektron kulit terluar yang mula-mula dalam keadaan diam kemudian mengalami hamburan. Sebagian dari energi radiasi akan diberikan kepada elektron, sehingga elektron terlepas dari atom dan energi yang tersisa diradiasikan kembali sebagai radiasi elektromagnetik. Besar energi foton yang dihamburkan E, terhadap energi foton mula-mula Eγ adalah :

$$E = \frac{E\gamma}{1 + \frac{E\gamma}{m_0 c^2}(1 - \cos\phi)} \tag{2.3}$$

dengan E adalah energi foton terhambur, $E\gamma$ adalah energi foton datang, $m_0 c^2$ adalah energi dari elektron dan ϕ adalah sudut foton hambur terhadap garis normal.

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 2.5. Efek Compton (Khan, 1992)

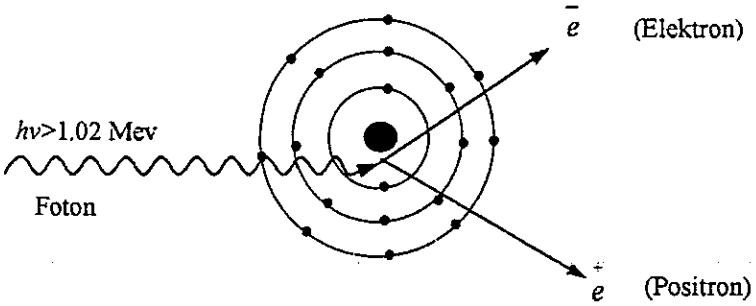
2.3.3. Produksi Pasangan

Proses produksi pasangan terjadi bila energi foton yang datang ≥ 1,02 MeV. Foton yang mengenai inti atom berat akan lenyap dan sebagai gantinya timbul sepasang elektron-positron. Positron adalah pertikel dengan massa sama dengan elektron dan bermuatan listrik positif yang besarnya sama dengan muatan elektron. Proses ini memenuhi hukum kekekalan energi :

$$h\nu = (2\, m_0\, c^2) + (K+) + \qquad (2.4)$$

dengan (K+) adalah energi kinetik positron dan (K-) adalah energi kinetik elektron. Proses ini hanya berlangsung bila energi foton yang datang minimal $2\, m_0\, c^2$ (= 1,02 MeV) dengan m_0 adalah elektron diam dan c adalah kecepatan cahaya.

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)

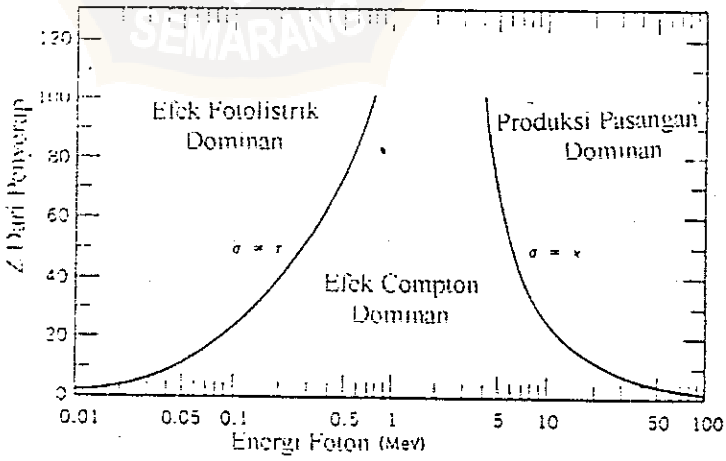


Gambar.2.6. Produksi Pasangan (Khan, 1992)

Ketiga proses interaksi dalam uraian diatas terjadi secara simultan, maka dengan alasan ini koofesien pengurangan linier total (μ) akan merupakan hasil penjumlahan koofisien-koofisien pengurangan linier fotolistrik (τ), efek Compton (σ) dan produksi pasangan (κ) (Krane, 1980), ditulis dalam rumus :

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \qquad (2.5)$$

Proses yang menyangkut τ, σ dan κ terhadap energi froton secara grafik ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar.2.7. Tiga macam interaksi utama sinar-X dan ketiga daerah dominannya (Krane, 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)

Untuk energi foton ($h\upsilon$) yang rendah dan nomor atom (Z) bahan yang besar; fotolistrik merupakan proses yang dominan, sedangkan pada $h\upsilon$ yang tinggi dan Z yang besar produksi pasangan memegang peranan. Diantara keduanya proses Compton adalah yang terpenting. Maka dari grafik dan pembahasan ketiga proses diatas dapat disimpulkan bahwa, gejala fotolistrik dominan didaerah energi kurang dari 0,5 MeV, sedangkan gejala Compton dalam daerah energi 0,5 – 2,5 MeV, kedua gejala ini merupakan peristiwa interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan elektron orbital atom. Produksi pasangan dominan dalam daerah yang lebih besar dari 2,5 MeV. Karena dalam penelitian ini digunakan sinar-X dengan energi 60 keV maka peristiwa interaksi yang terjadi adalah efek fotolistrik dan efek Compton.

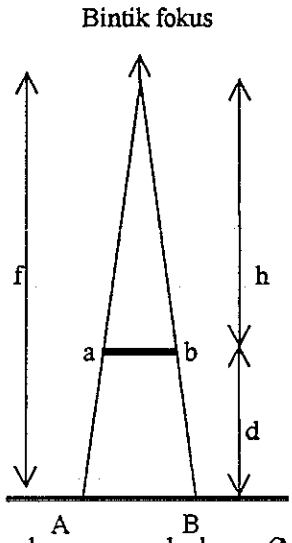
2.4. Faktor-faktor Geometri yang Mempengaruhi Gambaran Roentgen

Ada beberapa faktor geometri yang mempengaruhi gambaran radiografi antara lain yaitu :

2.4.1. Magnifikasi

Bila obyek sejajar dengan film, maka bentuk bayangan yang terjadi akan sama bentuknya tetap tetapi ukurannya mengalami perbesaran (magnifikasi).

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 2.8. Pembesaran sederhana (Meredith, 1977)

Magnifikasi dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut :

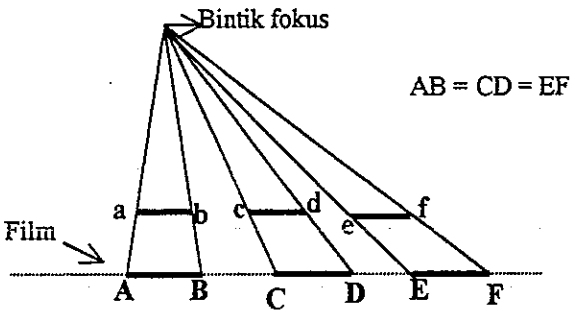
$$M=\frac{AB}{ab}=\frac{f}{h}=\frac{f}{(f-d)} \qquad (2.6)$$

dengan f adalah jarak fokus-film *(FFD)* , h adalah jarak fokus-obyek *(FOD)*, d adalah jarak obyek-film *(OFD)*, AB adalah bayangan yang terjadi dan ab adalah obyek.

2.4.1.1. Efek Sinar *Oblique*

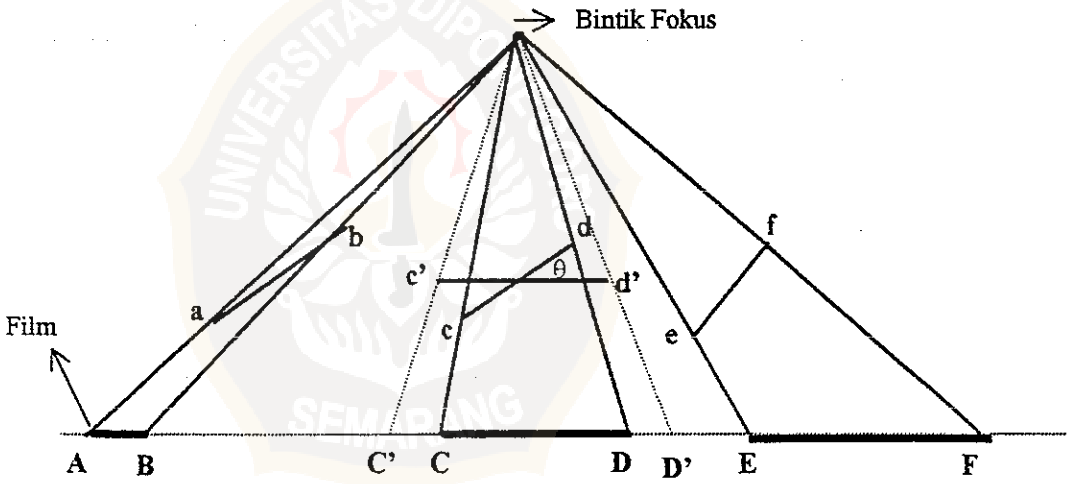
Pengaruh yang terjadi pada gambaran apabila obyek yang paralel terhadap film tidak ditempatkan tegak lurus terhadap pusat berkas sinar-X tetapi ditempatkan pada satu sisi dari pusat berkas sinar-X, sehingga obyek letaknya lebih miring/ke tepi dari pusat berkas sinar-X. Ternyata magnifikasinya sama seperti pada gambar 2.8, jadi magnifikasi dapat dikontrol hanya dengan jarak tegak lurus dari film, obyek dan dari fokus (Curry,dkk. 1990)

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. Tiga obyek lingkaran bentuk lempengan yang diletakkan sejajar film dan pada jarak yang sama dari film akan memberikan bayangan lingkaran yang sama besar untuk ketiga posisi. (Meredith, 1977)

2.4.1.2 Efek Obyek Tidak Sejajar Film



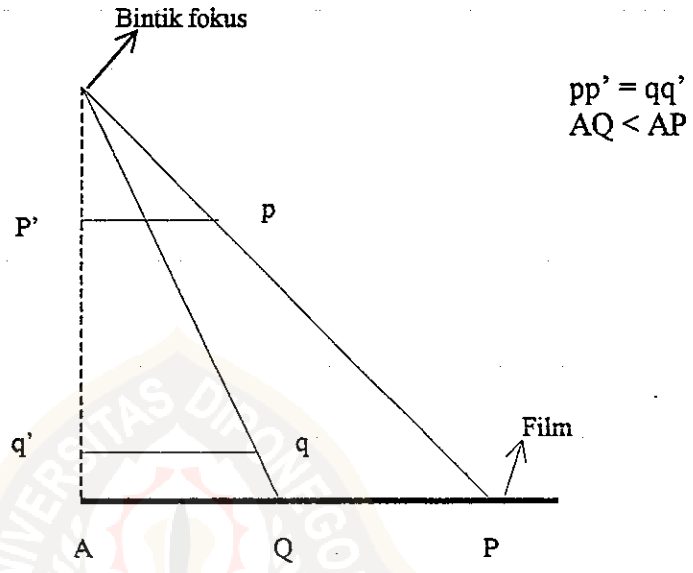
Gambar 2.10. Ukuran dan bentuk gambaran dari obyek yang letaknya miring dari pusat sinar-X dan dalam berkas sinar-X (Meredith, 1977)

Pada gambar 2.10 , digambarkan obyek ditempatkan pada sudut θ terhadap film. Gambaran CD dari benda cd lebih kecil dari pada gambaran C'D' dari obyek c'd' (c'd'= cd) yang sejajar dengan film pada jarak yang sama terhadap film. Pengurangan ukuran gambaran yang terjadi

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)

tergantung dari sudut θ dan bentuk gambaran akan berubah dari lingkaran menjadi elips.

2.4.1.3. Magnifikasi Karena Posisi



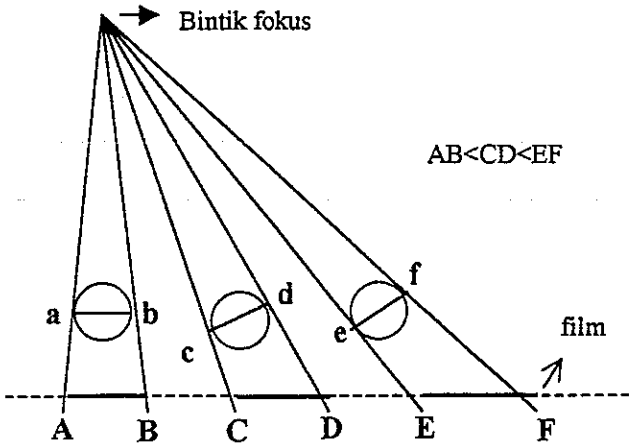
Gambar 2.11. Distorsi karena posisi (Meredith, 1977)

Jika dua obyek yang sama besar dan sejajar dengan film, tetapi jaraknya terhadap film tidak sama, maka akan terjadi magnifikasi yang tidak sama.

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)

2.4.2. Distorsi (Perubahan Bentuk dan Ukuran Gambaran Radiografi)

2.4.21. Distorsi Pada Obyek Padat



Gambar 2.12. Ukuran dan bentuk gambaran dari tiga bola yang sama besar dan sejajar dengan film, tergantung dari letak lateralnya. Semakin lateral / semakin jauh dari sumber sinar, semakin panjang gambar eleipsnya (Meredith, 1977)

Pada obyek yang padat setiap bagian mendapat magnifikasi yang berlainan, tergantung pada jarak ke film sehingga bentuk keseluruhannya akan berubah. Distorsi karena bentuk dan posisi dapat dibuat sekecil mungkin dengan pemakaian jarak fokus film yang besar dan jarak obyek film yang kecil dan berkas sinar-X tegak lurus film pada bagian yang akan diperiksa (Meredith, 1977).

2.5. Pengujian Letak Kedudukan Bintik Fokus dan Proyeksi Fokus Lampu Kolimator Terhadap Titik Pusat Penyinaran Pada Suatu Obyek Pemotretan

Menurut *NCDR (National Center of Device and Radiological Helth)*, pusat penyinaran *(central ray)* harus berada tegak lurus ke film.

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)

Film diletakkan sejajar dengan meja pemeriksaan, dan pusat penyinaran dapat diuji dengan peralatan standar yaitu *Beam Alignment* dan *Colimator Test Tool* sebagai obyek pemotretan. *Beam Alignment Test Tool* berfungsi sebagai alat penguji kesearahan sinar yang terbuat dari bahan *plexi glass* berbentuk silinder dengan tinggi 15,8 cm dan ditengah diameter kedua alasnya terdapat logam dengan ukuran diameternya 0,6 mm yang berada pada satu garis lurus. Jarak fokus ke film (*FFD*) diatur sejauh 100 cm. Jika didapat bayangan atau gambaran titik pusat pertengahan silinder yang terbuat dari logam baja *(the two balls)* saling berhimpit dan merupakan satu titik, ini menandakan kedudukan bintik fokus atau proyeksi lampu kolimator tepat pada posisinya. Bila gambaran yang terjadi tidak berhimpit ini menandakan bahwa kedudukan bintik fokus atau proyeksi fokus lampu kolimator terhadap titik pusat penyinaran sudah bergeser dari posisi semula .

Batas toleransi pergeseran kedudukan bintik fokus dan proyeksi fokus lampu kolimator terhadap titik pusat penyinaran pada suatu obyek pemotretan tidak boleh lebih dari 2% dari batas sudut maksimum yaitu 90° (Moores, 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)