EVALUASI *FOCAL SPOT* PADA PESAWAT RONTGEN DI LAB. FISIKA UNNES MENGGUNAKAN PINHOLE

SKRIPSI

disajikan sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

Oleh

Muhammad Alifudin Maulana
4211412016

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke siding Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unnes pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 24 Juli 2019

Pembimbing Skripsi I

Prof. Dr. Susilo, M.S.
NIP. 195020801197603100 6

Pembimbing Skripsi II

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si.
NIP. 196203011989012001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya sendiri, bukan dari jiplakan tulisan karya orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 30 Juli 2019

METERAI TEMPEL
7A8A2AFF911107165
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Muhammad Alifudin Maulana
NIM. 4211412016

PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi yang berjudul

"Evaluasi Focal Spot pada Pesawat Rontgen di Lab. Fisika Unnes Menggunakan Pinhole"

Disusun oleh

Nama : Muhammad Alifudin Maulana

NIM : 4211412016

telah dipertaruhkan dihadapan Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang psds tanggal 24 Juli 2019

Panitia

Prof. Dr. Sudarmin, M.Si
NIP. 19660123199231003

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si
NIP. 196807141996031005

Ketua Penguji

Isa Akhlis, S.Si., M.Si
NIP. 197001021999031002

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

Prof. Dr. Susilo, M.S
NIP. 195020801197603100 6

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si
NIP. 196203011989012001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

- Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua (Aristoteles)
- Selesaikan skripsi sebagai bukti bahwa Engkau siap menuai kelulusan yang hakiki.
- Skripsi bukanlah suatu yang harus ditatapi namun sesuatu yang harus diselesaikan.

PERSEMBAHAN

Karya ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Fatkhurrohman dan Mushofiyanti selaku sepasang yang ditakdirkan Allah untuk memberikan kasih saying kepada penulis.
2. Ustad Abuya Munif El- Shirazy yang telah mendidik penulis.
3. Teman-teman Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam khususnya Jurusan Fisika angkatan 2012.
4. Teman-teman MPA yang mengajari arti kebersamaan.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah, yang telah melimpahkan kasih sayang dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul "Evaluasi *Focal Spot* pada Pesawat Rontgen di Lab. Fisika Unnes Menggunakan *Pinhole*". Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan studi strata satu untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi berkat bimbingan, motivasi, dan bantuan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat di dalamnya. Penulis menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan studi strata satu di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Sugianto, M. Si, Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian.
3. Dr. Suharto Linuwih, M. Si, Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin untuk melaksanakan penelitian.
4. Prof. Dr. Susilo, M.S, dosen pembimbing I yang dengan kesabaran dan ketekunan telah memberikan bimbingan, dukungan, motivasi, dan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si, dosen pembimbing II yang dengan kesabaran telah memberikan bimbingan, dukungan, motivasi, dan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, dan bagi semua pihak pada umumnya.

Semarang, 30 Juli 2019

Penulis

SARI

Maulana, M.A. **2019**. ***Evaluasi Focal Spot pada Pesawat Rontgen di Lab. Fisika Unnes Menggunakan Pinhole***. Skripsi. **Jurusan Fisika**. **Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang**. Pembimbing I **Prof. Dr. Susilo, M.S**. Pembimbing II **Dra. Pratiwi Dwijananti, M.Si**.
Kata Kunci *:* Focal spot; Pinhole; Plat Alumunium; Citra Radiografi.

Focal spot merupakan area target dari sinar-X yang dipancarkan dari anoda. Itu termasuk komponen penting yang menentukan kualitas citra radiografi. Pinhole merupakan salah satu metode untuk menentukan nilai focal spot efektif. Bahan yang digunakan berupa plat alumunium dengan ukuran 10 × 10 mm dengan ketebalan 8 dan 10 mm. Ukuran diameter pinhole adalah 1,2,4, dan 7 mm. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui bagaimana hasil citra radiografi dan mencari nilai focal spot efektif. Metode yang digunakan dengan menempatkan pinhole diantara tabung sinar-X dan layar sensitif dengan memvariasikan jarak focal spot ke lubang (FHD) dan objek ke layar sensitif (OID). Citra yang dihasilkan diubah menjadi matrik menggunakan aplikasi MATLAB. Hasil penelitian dihasilkan citra dengan jarak FHD 80 cm adalah citra yang paling tajam dan nilai focal spot efektif yang layak pada diameter pinhole 4 dan 7 mm.

ABSTRACT

Maulana, M.A. **2019**. ***Evaluation Focal Spot on Rontgen Mobile in Physic Laboratory Unnes used Pinhole***. Final Project. **Physics Department**. **Faculty of Math and Sciences**. **Semarang State University**. Supervisor I **Prof. Dr. Susilo, M.S**. Supervisor II **Dra. Pratiwi Dwijananti**, M.Si.

Keywords: Focal spot; Pinhole; Aluminum Plate; Radiographic Image

The focal spot is the target area of X-ray emitted from the anode. It is an important component that determines the quality of radiographic images. The pinhole is one method to determine the value of focal spot. The material used an aluminum plate with size 10 × 10 mm and thickness 8 and 10 mm. Pinhole diameter size is 1,2,4, and 7 mm. The purpose of this study is to find out how the results of radiographic images and focal spot effective value. The method used by placing the pinhole between the X-ray tubes and intensifying screen by various the focal spot to hole distance (FHD) and the object to intensifying screen distance (OID). The resulting images is converted to matrix used application MATLAB. The result of the study were produced is that the images with a distance FHD 80 cm is the sharpest image and a decent focal spot effective value on diameter 4 and 7 mm.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PERNYATAAN iii
PENGESAHAN KELULUSAN ..... **iv**
MOTTO DAN PERSEMBAHAN v
PRAKATA vi
SARI viii
ABSTRACT ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Permasalahan 4
1.3. Pembatasan Penelitian 4
1.4. Tujuan Penelitian 4
1.5. Manfaat Penelitian 4
BAB II LANDASAN TEORI
2.1. Sinar-X 5
2.2. Faktor yang mempengaruhi intensitas sinar-X 7
2.3. Tabung Sinar-X 8
2.4. *Focal Spot* 10
2.5. Radiografi Digital 12
2.6. Kualitas Radiografi 14
2.7. Prinsip Geometri 15
2.8. Pinhole 17
BAB III METODE PENELITIAN
3.1. Pelaksanaan Penelitian 18
3.2. Alat dan Bahan 18

3.2.1. Alat 18
3.2.2. Bahan 18
3.3. Tahapan Penelitian 18
3.3.1. Persiapan Alat dan Bahan 20
3.3.2. Pembuatan *Pinhole* 20
3.3.3. Penempatan *Pinhole* 20
3.3.4. Preparasi 21
3.3.5. Variasi Jarak FFD dan FHD 21
3.3.6. Analisis Citra Radiografi 21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1. Analisis citra *pinhole* dengan variasi FHD 23
4.2. Analisis *focal spot efektif* 42
BAB V PENUTUP
5.1. Kesimpulan 46
5.2. Saran 46
DAFTAR PUSTAKA 47
LAMPIRAN 50

DAFTAR TABEL

Tabel halaman

Tabel 2.1. Nilai representasi batas *focal spot* dengan SID = 102 cm 11

Tabel 4.1. Nilai penumbra pada citra dengan ketebalan 8 mm..... 39

Tabel 4.2. Nilai penumbra pada citra dengan ketebalan 10 mm..... 39

Tabel 4.3. Data citra pinhole diameter 7 mm dengan ketebalan 8 mm..... 40

Tabel 4.4. Nilai *focal spot efektif* (fse) dengan SID= 90 cm..... 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar halaman

Gambar 2.1. (a) Spektrum λ (b) Spektrum energi sinar-X molybdenum 6
Gambar 2.2. Diagram skema tabung sinar-X..... 8
Gambar 2.3. Intensitas kira-kira dari berkas sinar-X 10
Gambar 2.4. *Focal spot* aktual dan *focal spot* efektif 11
Gambar 2.5. Diagram alir Sistem Pencitraan Radiografi Digital modifikasi dari Sistem Radiografi Konvensional 13
Gambar 2.6. Ilustrasi prinsip secara umum geometri formasi bayangan..... 15
Gambar 2.7. Desain *pinhole*..... 17
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian..... 19
Gambar 3.2. Penempatan *pinhole* 20
Gambar 4.1. Hasil enam citra pinhole dengan diameter lubang (ϕ) = 7 mm dengan tebal alumunium 8 mm..... 24
Gambar 4.2. Citra *pinhole* dengan ϕ = 7 mm dan jarak FHD = 90 cm 25
Gambar 4.3. Grafik *greyscale* pada citra 25
Gambar 4.4. Objek properti pada grafik *greyscale*..... 26
Gambar 4.5. Hasil ploting citra dengan variasi FHD..... 27
Gambar 4.6. Citra *pinhole* dengan ϕ = 4 mm dan jarak FHD = 90 cm 29
Gambar 4.7. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 4 mm dengan tebal alumunium 8 mm 29
Gambar 4.8. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 2 mm dengan tebal alumunium 8 mm 30
Gambar 4.9. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 2 mm dengan tebal alumunium 8 mm 31
Gambar 4.10. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 1 mm dengan tebal alumunium 8 mm 32

Gambar 4.11. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 1 mm dengan tebal alumunium 8 mm 32
Gambar 4.12. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 7 mm dengan tebal alumunium 10 mm 33
Gambar 4.13. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 7 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 34
Gambar 4.14. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 4 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 35
Gambar 4.15. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 4 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 35
Gambar 4.16. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 2 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 36
Gambar 4.17. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 2 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 37
Gambar 4.18. Hasil citra *pinhole* diameter lubang (ϕ) = 1 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 38
Gambar 4.19. Hasil ploting citra diameter lubang (ϕ) = 1 mm dengan tebal alumunium 10 mm..... 38
Gambar 4.20. Grafik hubungan antara $\frac{OID}{SOD}$ dengan lebar penumbra..... 41

.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Focal spot (bintik fokus) didefinisikan sebagai area target dari sinar-X yang dipancarkan dari anoda (Bushong, 2013). *Focal spot* termasuk komponen penting di dalam tabung sinar-X. Ketepatan *focal spot* berkas sinar-X merupakan faktor penting untuk menentukan *resolusi* parsial dalam citra radiografi. *Focal spot* sangat berpengaruh pada ketajaman hasil citra radiografi, sehingga *focal spot* akan menentukan kemampuan pesawat sinar-X dalam mendeteksi cacat pada radiograf (Djoko *et al*., 2012). *Focal spot* merupakan target pada anoda yang terus menerus terkena elektron akan mengalami keausan pada permukaannya sehingga daerah *focal spot* akan semakin luas. Bertambahnya ukuran *focal spot* menjadikan blur pada citra radiografi.

Menurut Fourmaux *focal spot* yang ideal adalah berupa sebuah titik, hal ini akan menghasilkan kualitas terbaik tapi faktanya *focal spot* memiliki ukuran sehingga memunculkan zona penumbra yang menyebabkan citra menjadi blur (Fourmaux, 2015). Blur pada citra akan mempengaruhi penurunan kemampuan citra untuk memperlihatkan detail anatomi objek. Objek-objek kecil sangat bergantung pada ketajaman citra. Objek seperti organ tubuh manusia (tulang) dalam skala kecil seperti tulang jari, kemudian objek kanker pada tubuh manusia dalam ukuran kecil membutuhkan tingkat ketajaman citra yang tinggi. Citra dengan ketajaman yang bagus mampu untuk mengidentifikasi objek-objek kecil seperti kanker. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengkontrolan secara berkala guna mengoptimalkan kualitas citra yang dihasilkan.

Menurut Li ada hubungan antara ukuran *focal spot* dan geometri citra (Li, 2016), dalam buku Bushong dikatakan bahwa semakin kecil *focal spot* semakin bagus resolusi citra (gambar) (Bushong, 2012) maka citra semakin bagus. Penyebab menurunnya kinerja tabung sinar-X antara lain usia, jumlah pasien atau objek penelitian, eksposi yang tinggi serta jenis pemeriksaan. Oleh karena itu, kondisi dari pesawat sinar-X diagnostik perlu diperhatikan karena hal tersebut dapat

mempengaruhi distribusi pada kualitas citra radiografi yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X tersebut (Rahmayanti *et al*., 2015).

Panas anoda yang berlebih pada tabung sinar-X saat pengoperasian pesawat radiografi sinar-X dan disipasi panas yang tidak mencukupi akan menyebabkan perubahan ukuran atau kerusakan dimensi *focal spot*. Material anoda akan terkisis disebabkan terkena panas berlebih menyebabkan sudut anoda mengalami perubahan. Berubahnya sudut anoda berdampak pada bertambahnya ukuran *focal spot*. Akibat perubahan ukuran *focal spot* tersebut akan berpengaruh pada ketajaman citra radiografi.

Ketajaman didefinisikan sebagai kemampuan film sinar-X atau sistem layar film untuk menentukan tepi. Ketajaman suatu citra dipengaruhi oleh batas antara bagian-bagiannya. Suatu citra dikatakan tajam apabila keadaan citra tersebut dapat terlihat jelas batas antara bagian-bagian yang membentuk citra tersebut. Ketajaman citra yaitu tebalnya batas pemisah antara dua bagian yang berbeda derajat kehitamannya (*greyscale*). Suatu citra radiografi dikatakan memiliki ketajaman yang tinggi bila lebar penumbra (*focal spot blur*) adalah sempit.

Ada hubungan antara meningkatnya ketajaman dari citra dan kemampuan untuk menentukan tepi (Timothy, 2005). Semakin tajam suatu citra maka akan semakin bagus kualitasnya, sedangkan semakin tidak tajam citra tersebut maka akan semakin berkurang kualitas citranya. Ketidak tajaman citra radiograf menjadikan citra lebih buram. Keburaman mengakibatkan penurunan kemampuan untuk memperlihatkan detail anatomi objek. Pencitraan medik sangat penting dalam hal ketajaman citra guna memperjelas dalam menganalisa anatomi objek yang dipaparkan.

Penyebab berkurangnya tingkat ketajaman citra yaitu *focal spot* tersusun beberapa sumber titik yang membentuk suatu area. Masing-masing sumber titik tersebut akan membentuk citra pada posisi yang berbeda-beda. Sebagian sumber titik membentuk citra yang saling bertumbukan pada film. Peristiwa tumbukan tersebut menjadikan nilai *greyscale* mengalami perubahan. Oleh karena itu, *focal spot* itu amat penting terhadap kualitas citra yang dihasilkan.

Faktor yang mempengaruhi tingkat ketajaman citra yaitu jarak sumber ke objek dan ukuran *focal spot*. Namun, jarak bisa diatur sedemikian rupa sehingga mengefektifkan ketajaman, sedangkan ukuran *focal spot* tidak bisa kita atur karena itu suatu nilai yang pasti. *Focal spot* memiliki ukuran yang bisa bertambah lebar dengan sebab-sebab yang menyertainya. Perlu adanya uji *focal spot* guna mengefisiensikan kualitas citra yang dihasilkan.

Ada beberapa macam uji kelayakan sinar-X diantaranya uji *collimator test tool* (uji kolimasi), metode *pinhole*. Menurut Dwi bahwa uji kolimasi dimaksudkan untuk menjamin kualitas radiograf dan pembatasan dosis radiasi terhadap pasien (Dwi, 2017). Dalam uji kolimasi didapatkan nilai sudut simpangan, apabila sudut simpangan tersebut berada dalam rentang yang sudah ditetapkan, maka kualitas radiograf dikatakan bagus. Metode *pinhole* dimaksudkan untuk mengetahui besarnya *focal spot* efektif. Metode ini dapat menentukan lebar penumbra yang nantinya akan diperoleh nilai *focal spot* efektifnya.

Djoko menyatakan bahwa metode *pinhole* merupakan salah satu metode untuk menguji dimensi *focal spot*. *Pinhole* merupakan alat ukur dimensi *focal spot* berupa satu lempengan material tipis dengan nilai attenuasi tinggi dan berlubang kecil (Djoko, 2012). Dalam pemakaiannya *pinhole* ditempatkan diantara *focal spot* dengan layar sensitif. Metode ini dapat mengukur lebar penumbra dengan menggunakan aplikasi Matlab sebagai pengolah data citra dalam bentuk matrik nilai *greyscale*, kemudian melalui perhitungan secara matematis dengan rumus persamaan yang sudah diketahui, maka didapat ukuran *focal spot* efektif. Nilai *focal spot* efektif tersebut dapat dibandingkan dengan nilai yang tercantum pada alat atau jurnal yang terkait masalah tersebut.

Metode *pinhole* termasuk metode yang efisien, kemudian diperkuat dengan aplikasi yang mendukung seperti matlab, menjadikan metode ini lebih praktis. Dengan berbekal persamaan matematis sederhana menjadikan metode ini lebih praktis daripada metode lainnya. Metode ini juga metode yang bisa menjelaskan adanya hubungan antara lebar penumbra dengan ukuran *focal spot* efektif.

1.2. Permasalahan

Permasalahan yang menjadi fokus kajian dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil citra *pinhole* dengan variasi *focal spot to hole distance* (FHD)?
2. Apakah *focal spot* efektif masih memenuhi standar pembacaan film radiografi?

1.3. Pembatasan Penelitian

Pada penelitian skripsi ini perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut, yaitu *pinhole* dibuat dengan material alumunium. Ukuran diameter lubang *pinhole* berturut-turut adalah 1, 2, 4 dan 7 mm. Jarak *focal spot holes distance* (FHD) terhadap tegangan 50 kV arus 16 mA dan waktu 0,20 s.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perubahan FHD pada citra radiograf yang dihasilkan.
2. Mengetahui dimensi *focal spot* dari citra yang dihasilkan.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui dimensi *focal spot* pesawat radiografi digital di laboratorium fisika FMIPA Unnes.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh *focal spot* terhadap kualitas citra.

BAB II
LANDASAN TEORI

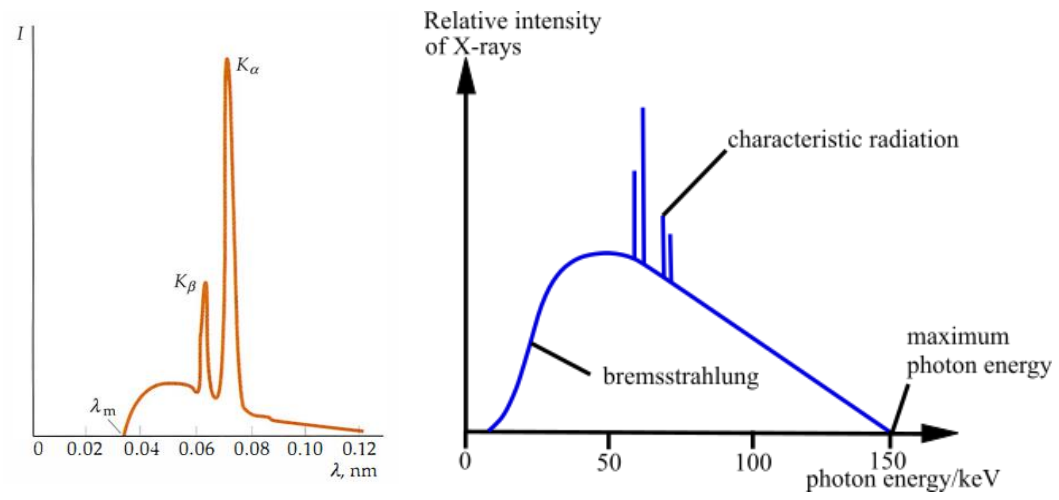
2.1. Sinar-X

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Roentgen pada tahun 1895. Beliau menemukan bahwa sinar dari tabung dapat menembus bahan yang tak tembus cahaya dan mengaktifkan layar pendar atau film foto. Sinar ini berasal dari titik tumbukan elektron mengenai sasaran (anoda) di dalam tabung tersebut. Rontgen tidak dapat menyimpangkan sinar-sinar ini dalam medan magnet, sebagaimana yang diharapkan jika sinar tersebut berupa partikel bermuatan, tidak juga mengamati difraksi atau interferensi, sebagaimana yang diharapkan jika sinar tersebut berupa gelombang. Sinar tersebut dinamakan sinar-X.

Sinar-X dapat menembus semua bahan dalam derajat tertentu. Daya tembus sinar-X terhadap bahan berkurang seiring meningkatnya densitas bahan. Suatu material memiliki densitas yang berbeda-beda. Nilai attenuasi (perlemahan) material bertambah ketika nomor atom semakin tinggi. Sinar-X dihasilkan oleh elektron yang menumbuk target dalam tabung hampa udara dengan adanya beda potensial yang tinggi antara katoda dan anoda maka terjadilah pancaran elektron dengan kecepatan tinggi dari katoda menuju anoda. Kurang lebih 1 % energi kinetik diubah menjadi sinar-X dan 99 % diubah menjadi panas (Meredith, 1977).

Panas anoda sangat tinggi ketika dibombardir elektron. Panas anodda perlu ditransmisikan untuk mencegah kerusakan anoda. Peran daripada minyak yaitu sebagai pendingin anoda. Minyak merupakan pendingin yang paling efisien, sehingga anoda tetap pada suhu instrumen. Oleh karena itu, sinar-X mampu dioperasikan terus menerus sesuai dengan keperluan.

Anoda yang dilengkapi dengan *focal spot* merupakan target yang terus menerus dibombardir oleh elektron akan mengalami keausan pada permukaannya sehingga daerah *focal spot* akan semakin luas. Semakin kecil ukuran *focal spot*, semakin tajam pula gambar yang dihasilkan. Sebaliknya, apabila ukuran *focal spot* semakin luas, maka gambaran yang dihasilkan semakin tidak tajam (Hendee, 2001).



(a) (b)

Gambar 2.1. (a) Spektrum λ (b) Spektrum energi sinar-X molybdenum

Gambar 2.1 (a) lukisan intensitas terhadap panjang gelombang untuk spektrum yang dipancarkan dari tabung sinar-X dimana sasarannya dibombardir dengan elektron. Spektrum ini terdiri atas sederetan garis tajam yang disebut spektrum karakteristik yang ditimpakan pada spektrum kontinu yang disebut spektrum bremsstrahlung. Garis spektrum ini merupakan karakteristik bahan sasaran dan beragam dari unsur ke unsur. Gambar 2.1 (b) Spektrum energi bremstraghlung bersifat kontinyu. Spektrum energi karakteristik bersifat diskrit. Karakteristik untuk mengkarakterisasi unsur sasaran (material).

Puncak tajam yang ditandai K_α dan K_β merupakan karakteristik unsur sasarannya. Panjang gelombang potong λ_m, tidak bergantung unsur sasaran dan dihubungkan dengan tegangan sinar-X oleh $\lambda_m = \frac{hc}{eV}$ karena h,c dan e merupakan ketetapan yang pasti, maka λ_m hanya dipengaruhi oleh V. Konstanta c merupakan kecepatan cahaya, dimana dipengaruhi oleh $\lambda\, f$. $\lambda = \frac{c}{f}$, dapat dilihat bahwa λ berbanding terbalik dengan f. Besarnya energi dipengaruhi oleh frekuensi, E = hf.

Nilai kV besar maka λ_m akan semakin kecil, sehingga menyebabkan f semakin besar karena f semakin besar maka energi akan semakin besar, sehingga daya tembus sinar-X semakin besar. Daya tembus sinar-X dipengaruhi oleh kV, semakin tinggi kV maka semakin besar daya tembusnya.

2.2. Faktor yang mempengaruhi intensitas sinar-X

2.2.1. Arus tabung sinar-X

Arus tabung sinar-X mempengaruhi banyaknya elektron yang mengalir pada tabung sinar-X, sehingga produksi sinar-X semakin banyak. Ini menunjukkan bahwa dengan penambahan mA dengan waktu eksposi tetap akan berpengaruh pada penambahan kuantitas dan dosis radiasi.

Perubahan mA atau waktu penyinaran akan mempengaruhi intensitas pada tiap tingkat energi dengan nilai berbanding lurus dengan perubahannya. Namun pada dasarnya perubahan ini tidak berpengaruh terhadap besarnya energi yang dipancarkan.

Intensitas sinar-X ditentukan oleh jumlah elektron persatuan waktu dari katoda ke anoda yang mencapai target dan dinamakan arus tabung. Arus tabung ditingkatkan akan meningkatkan jumlah elektron yang menumbukan ke anoda, sehingga sinar-X yang dihasilkan akan semakin banyak (Meredith, 1997).

Intensitas sinar-x sebanding dengan arus tabung sinar-X (mA) dan lamanya waktu (s) yang digunakan. I = mAs. I adalah intensitas sinar-X. mAs berpengaruh terhadap densitas radiograf dan oleh karena itu juga mempengaruhi kontras.

2.2.2. Tegangan Tabung sinar-X

Faktor pengontrol dan pengendali utama dari radiograf adalah KV. Jika KV dinaikkan maka kualitas dan kuantitas sinar-X akan bertambah. Banyak sinar-X yang dipancarkan sampai objek sehingga sinar-X primer banyak yang sampai ke *intensifying screen*. Sinar-X akan berinteraksi dengan objek sehingga jumlah interaksi coumpton akan bertambah dengan bertambahnya KV, yang menghasilkan perbedaan daya serap yang kecil dan akan mengurangi kontras, ketika kontras radiograf rendah maka *latitude* menjadi tinggi dan terdapat faktor kesalahan yang besar (Bushong, 2001).

Perubahan tegangan tabung berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas sinar-X. Dengan bertambahnya KV, maka energi elektron akan bertambah sehingga kemampuan menembus bahan juga bertambah.

Perubahan KV menyebabkan lebih banyak interaksi yang terjadi pada target sehingga kuantitas dari sinar-X juga bertambah.

2.2.3. Jarak

Intensitas sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sinar-X berbanding terbalik dengan kuadrat jarak yang digunakan. Hubungan ini berlaku hukum kuadrat terbalik.

$$\frac{I_2}{I_1} = \left[\frac{FFD_1}{FFD_2}\right]^2$$

I_1 adalah intensitas sinar-X sebelum jarak fokus ke film berubah

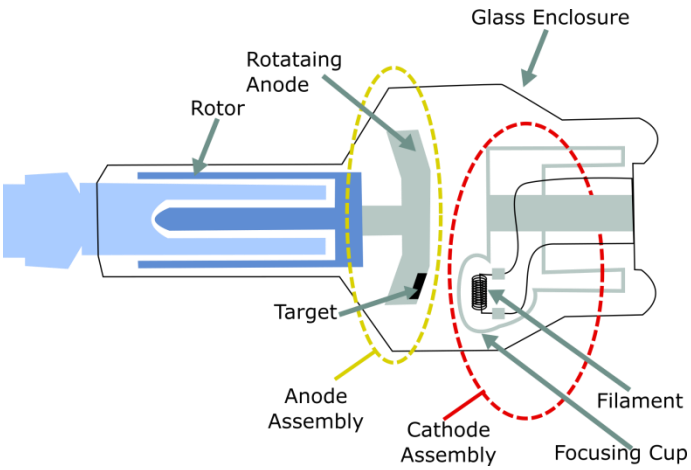
I_2 adalah intensitas sinar-X setelah jarak fokus ke film berubah

FFD_1 adalah jarak fokus ke film sebelum bertambah

FFD_2 adalah jarak fokus ke film sesudah bertambah

2.3. Tabung Sinar-X

Tabung sinar-X terdiri dari elemen katoda dan anoda yang ditempatkan di dalam tabung dengan tingkat kevakuman yang sangat tinggi. Sinar-X dihasilkan oleh berkas elektron jika elektron dari katoda menumbuk atom pada anoda. Katoda tersebut dipanaskan menggunakan filamen, maka panas tersebut akan membuat elektron katoda mengembun di sekitar katoda (Putra, 2006). Semakin berpijar filament semakin banyak pelepasan elektron.



Gambar 2.2. Diagram skema tabung sinar-X

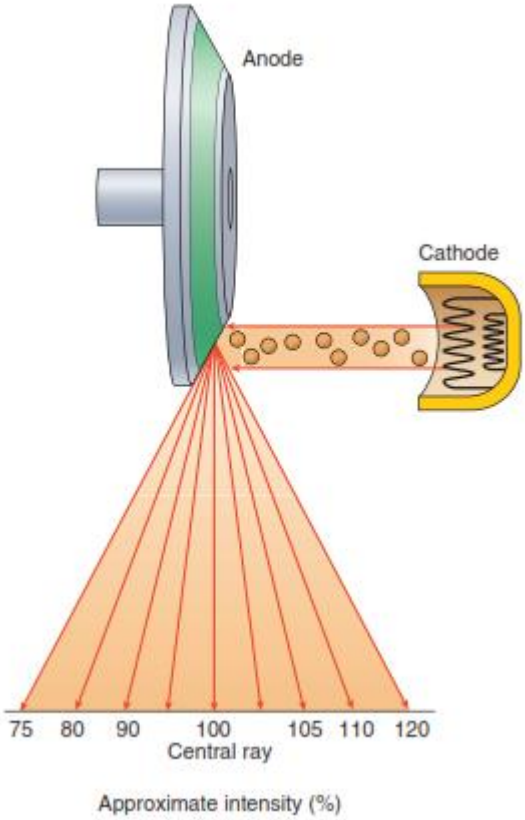
Sistem pemfokus elektron yang bermuatan lebih negatif daripada katoda dengan diberi beda potensial (V) yang tinggi, maka elektron-elektron terfokuskan

bergerak dari katoda ke anoda dengan kecepatan sangat tinggi. Daerah dimana elektron-elektron dari katoda menumbuk anoda disebut *focal spot*. Tegangan tinggi antara katoda dan anoda, maka elektron-elektron itu akan tertarik, lalu membentur anoda, sehingga menghasilkan sinar-X. Semakin tinggi arus filamen atau makin tinggi temperatur filamen, jumlah elektron yang diemisikan semakin banyak. Secara umum intensitas sinar yang dihasilkan berbanding lurus dengan arus filamen (Quinn & Sigl, 1980).

Temperatur filament semakin tinggi, maka semakin besar emisi elektron dan menghasilkan arus tabung yang lebih besar. Arus tabung dikendalikan oleh beberapa alat yang mengatur arus pemanasan yang diberikan kepada filamen. Hal ini biasanya diselesaikan dengan variabel tegangan transformer, yang mana energi utama dari filamen transformer. Seluruh energi yang diberikan kepada tabung dirubah menjadi panas di *focal spot*, hanya sebagian kecil yang dirubah menjadi sinar-X. Konsentrasi tinggi panas dalam area kecil sangat mengganggu material dan desain anoda. Titik lebur yang tinggi dari tungsen membuat material tersebut sangat cocok dalam proses pembentukan sinar-x mengingat proporsional dengan nomor atomnya. Target-target yang dibuat diseluruh industri mesin sinar-X dibuat dari tungsen.

Sinar-X yang terlepas melewati filter (penyerap sinar-X berenergi rendah). Selanjutnya, sinar-X melewati kolimator yang terbuat dari timah. Kolimator berfungsi untuk membatasi sinar-X agar tidak melebihi FOW (*field of view*). Kemudian sinar-X akan melewati *cone* mengarah pada penangkap citra dengan melewati objek.

Karakteristik dari sinar-X diagnostik adalah terjadinya suatu efek yang dikenal sebagai efek heel (*heel effect*). Efek heel adalah efek asimetri dan hanya terjadi pada sisi anoda (Meredith, 2010). Efek heel ditimbulkan dari prinsip garis fokus bahwa intensitas radiasi sinar-X pada sisi katoda lebih besar dibandingkan pada sisi anoda. Objek dengan ketebalan yang berbeda, maka sinar-X dari sisi anoda akan melintasi ketebalan yang lebih besar disbanding sisi katoda. Proses terjadinya efek heel dapat digambarkan sebagai berikut:

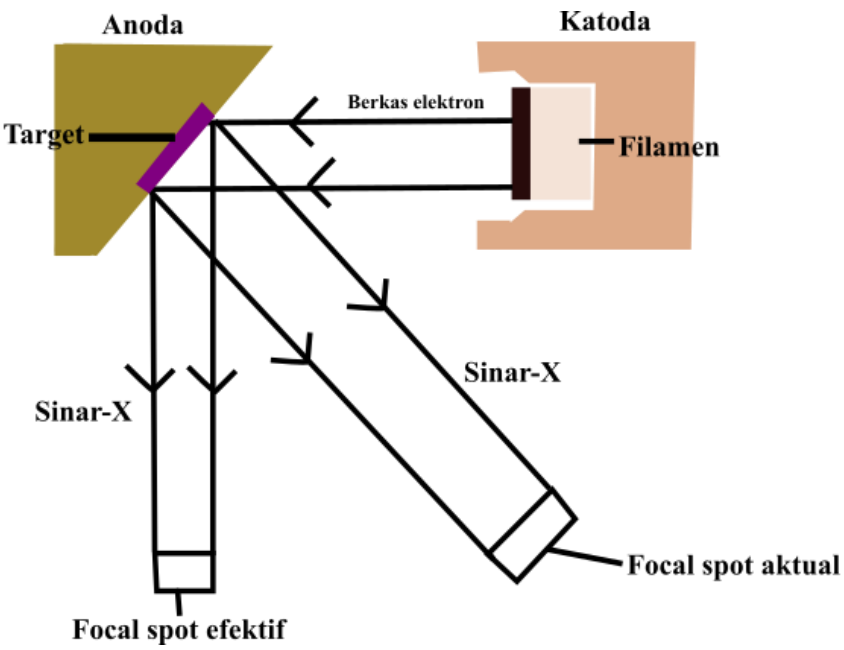


Gambar 2.3. Intensitas kira-kira dari berkas sinar-X

Gambar 2.3 menunjukkan bagaimana sinar-X dipancarkan terhadap sisi katoda dari tabung sinar-X yang melewati material anoda lebih kecil dari sinar-X yang dipancarkan terhadap sisi anoda dari medan tersebut. Efek heel bisa menghasilkan intensitas yang bervariasi lebih dari 40% di antara sisi anoda dan katoda dari medan tersebut. Efek heel lebih kelihatan dengan sudut anoda yang lebih kecil, ukuran medan lebih besar, dan SID (*source to image receptor distance*) yang lebih dekat.

2.4. *Focal Spot*

Focal spot didefinisikan sebagai luasan daerah target pada anoda yang dikenai tumbukan elektron. *Focal spot* aktual adalah area target sinar-X ditinjau dari posisi tegak lurus terhadap permukaan target. *Focal spot* efektif adalah area target sinar-X ditinjau dari posisi tegak lurus terhadap sumbu tabung di tengah berkas sinar-X (ASTM-E1164, 1996).



Gambar 2.4. *Focal spot* aktual dan *focal spot* efektif

Sudut target dibuat sekecil mungkin, sehingga ukuran *focal spot* efektif juga semakin kecil. Tabung sinar-X diagnostic memiliki sudut target kira-kira 5°-20° (Bushong, 2013).

Berkas sinar-X keluar melewati kolimator, sehingga *focal spot* terlihat tegak lurus dengan tabung sinar-X. Focal spot efektif memiliki ukuran yang lebih kecil daripada *focal spot* aktual. Hal ini disebabkan karena faktor kemiringan sudut target (anoda).

Tabel 2.1. Nilai representasi batas *focal spot* dengan SID = 102 cm (Monique & Edward, 1992).

Perhitungan ukuran *focal spot* efektif		
Posisi	Ukuran *focal spot* efektif (mm)	
Lokasi antara anoda - katoda	*Focal spot* kecil	*Focal spot* besar
7 inch terhadap katoda	2,08-2,28	3,59-4,19
Pusat sinar	1,14-1,25	1,97-2,30
7 inch terhadap anoda	0,20-0,22	0,35-0,41

Tabel 2.1. menunjukkan ukuran *focal spot* efektif pada lokasi antara anoda-katoda. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan posisi tepat di pusat sinar-X.

Mobile Diagnostic type SF100BY mempunyai spesifikasi tabung sinar-X: XD4-29/100, *focus* 4.3. Tabung sinar-X tersebut memiliki dua fokus yaitu 1,8 mm (fokus kecil) dan 4,3 (fokus besar). Fokus kecil digunakan untuk arus sekitar 15mA, sedangkan fokus besar digunakan pada arus 50, 60, 100 mA. Pada penelitian ini arus yang digunakan 16 mA, tabung sinar-X menggunakan fokus kecil 1,8 mm, maka berdasarkan Tabel 2.1. rentang *focal spot* efektif yaitu 1,14-1,25 mm.

Menurut Sinead bahwa ada hubungan antara ukuran *focal spot* dengan ketidaktajaman, dengan bertambahnya ukuran *focal spot* menghasilkan penumbra lebih lebar (Sinead, 2010) hal ini selaras dengan persamaan yang tertulis dalam buku Bushong, dimana hubungan antara *focal spot* efektif berbanding lurus dengan lebar penumbra (*focal spot blur*) (Bushong, 2001). Oleh karena itu, *focal spot* menjadi faktor yang penting dalam citra radiografi.

2.5. Radiografi Digital

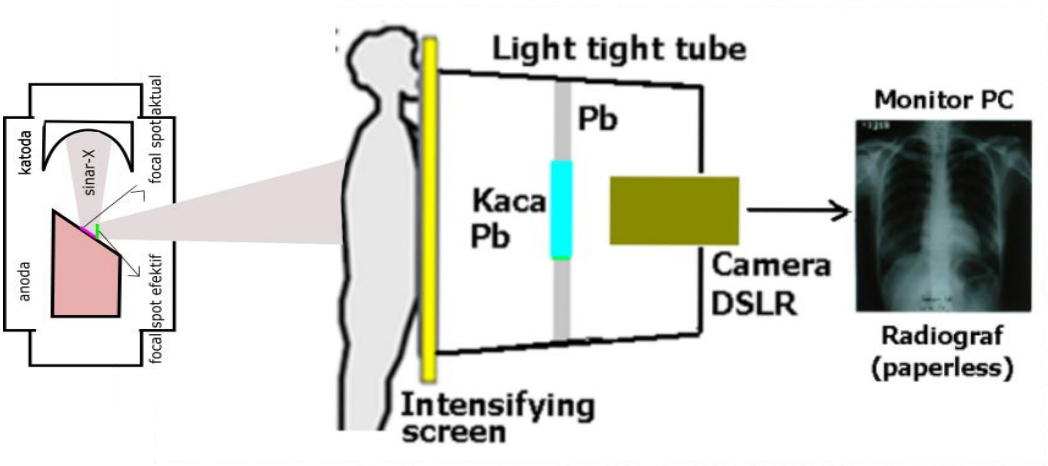
Radiografi digital adalah suatu radiografi sinar-X dalam proses pencitraannya tidak memerlukan proses kimiawi, sehingga biaya operasional rendah dan ramah lingkungan. Selain itu citra hasil dapat langsung diamati dan mudah disimpan, karena terhubung langsung dengan sistem komputer. Radiografi digital merupakan bentuk pencitraan sinar-X dengan melakukan proses konversi menggunakan tabung kedap cahaya berbasis X-ray intensifying screen yang dihubungkan dengan suatu perangkat digital (Susilo dkk, 2012a).

Alat radiografi yang ada di laboratorium fisika fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam awalnya merupakan radiografi konvensional bersifat analog dan menggunakan zat kimia untuk pemrosesan film radiografi, sehingga menimbulkan polusi. Proses untuk memvisualisasikan citranya membutuhkan waktu lebih lama daripada radiografi digital.

Radiografi konvensional tersebut dimodifikasi menjadi radiografi digital menggunakan kamera DSLR, tanpa film, hasilnya dapat diamati langsung melalui layar monitor komputer. Keunggulan lainnya adalah bahwa citra digital hasil dapat diproses lebih lanjut, misalnya dengan teknik pengolahan citra (*image processing, pattern recognition and image arhieving*) (Susilo *et al*., 2010).

Hasil radiografi digital juga menyajikan citra struktur anatomi dua dimensi. Citra tersebut merupakan numerik yang mempresentasikan hasil intensitas sinar-X yang ditransmisikan melewati pasien. Dalam penelitian tersebut mengembangkan format teknologi radiografi digital yang mobile untuk pencitraan medis yang dikembangkan menggunakan komponen-komponen yang ada dipasar domestic atau regional (Susilo dkk, 2014).

Sistem radiografi digital hasil modifikasi tersebut dapat dilukiskan seperti Gambar 2.5 Diagram alir tersebut menjelaskan tentang radiografi digital hasil dari modifikasi radiografi konvensional berbasis layar sensitif dengan mode radiografi sebagai suatu unit pencitraan radiografi digital. Dengan membangun tabung kedap cahaya dibelakang layar sensitif maka bayangan objek bisa ditangkap oleh kamera DSLR untuk ditampilkan pada layar monitor PC (radiografi), sehingga pemrosesan film radiografi konvensional tidak diperlukan lagi.



Gambar 2.5. Diagram alir Sistem Pencitraan Radiografi Digital modifikasi dari Sistem Radiografi Konvensional

Menurut Diah bahwa citra yang diproses secara sistem komputerisasi akan mengalami penurunan kualitas seperti citra terlihat buram atau gelap (Diah, 2011). Hal ini menjadikan para peneliti, mencari berbagai metode pengolahan citra guna untuk meningkatkan mutu citra agar hasilnya mempunyai kualitas yang relatif lebih baik. Hal ini dimaksudkan untuk memperkecil kesalahan analisa untuk mempermudahkan para dokter dalam mendiagnosa pasien.

2.6. Kualitas Radiografi

Kualitas radiografi adalah kemampuan sinar-X menembus bahan. Ada dua faktor yang berpengaruh terhadap daya tembus sinar-X, yaitu KV dan filtrasi. Perubahan nilai KV dapat mempengaruhi daya tembus sinar-X, radiasi hambur, dosis, dan terutama kontras radiograf.

Kualitas radiografi adalah kemampuan radiograf dalam memberikan informasi yang jelas mengenai objek atau organ yang diperiksa. Adapun 4 faktor yang mempengaruhi kualitas radiograf yaitu densitas, kontras, ketajaman, detail.

Ketajaman suatu citra dipengaruhi oleh batas antara bagian-bagiannya. Suatu citra dikatakan tajam apabila keadaan citra tersebut dapat terlihat jelas batas antara bagian-bagian yang membentuk gambar tersebut. Ketajaman citra yaitu tebalnya batas pemisah antara dua bagian yang berbeda kehitamannya. Suatu radiograf dikatakan memiliki ketajaman yang tinggi bila lebar batas antara dua daerah yang berlainan adalah sempit (Rahmayanti *et al*., 2015).

Detail merupakan kualitas radiografi berdasarkan ketajaman, dilihat dari garis luar yang membentuk citra dan kontras antara beberapa struktur yang terekam. Jika garis luar yang membentuk citra sangat jelas dilihat, maka citra tersebut memiliki kejernihan detail yang bagus. Salah satu faktor yang mempengaruhi detail adalah penumbra (*focal spot blur*). Penumbra dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{SOD}{OID} = \frac{focal\ spot\ efektif}{focal\ spot\ blur}$$

$$focal\ spot\ efektif = \frac{OID}{SOD}\ (focal\ spot\ blur)$$

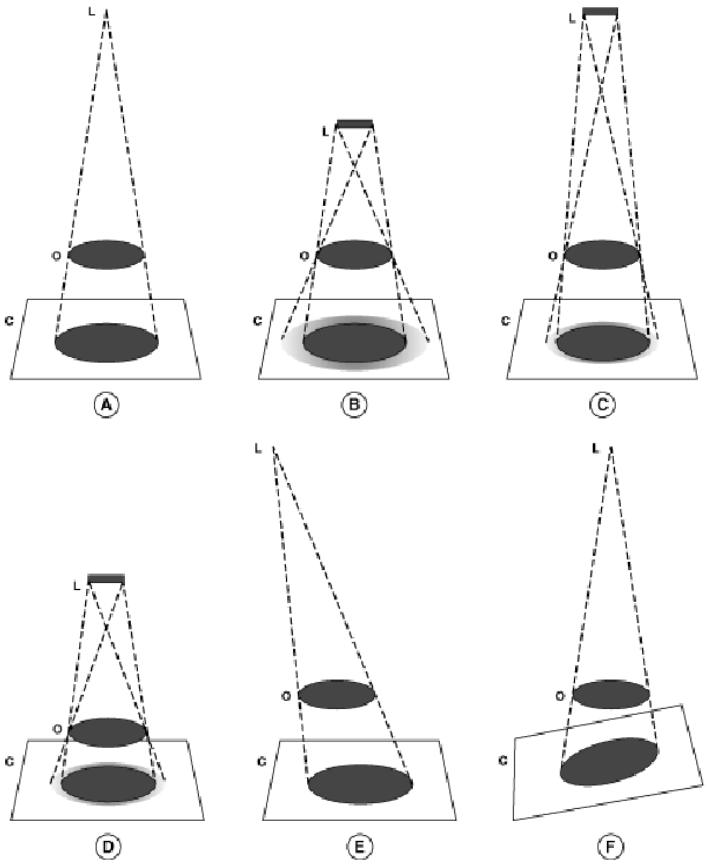
SOD (*source to object distance*) yaitu jarak sumber sinar dan objek dan OID (*object to image receptor distance*) yaitu jarak objek dan bayangan (Bushong, 2013).

Kekaburan mengakibatkan penurunan kemampuan untuk memperlihatkan detail anatomi objek. Padahal hal tersebut sangat penting dalam penggambaran citra medik. Selain itu, kekaburan menurunkan nilai ketajaman (*sharpness*) struktur dan objek citra medik, sehingga ketidak tajaman (*unsharpness*) sering digunakan sebagai pengganti istilah kekaburan (*blurring*).

2.7. Prinsip Geometri

Sinar-x mempunyai sifat-sifat geometri yang sama dengan cahaya biasa, sehingga pembahasan mengenai proses pembentukan bayangan oleh sinar-X dapat dianggap sama seperti proses pembentukan bayangan oleh cahaya biasa (Muhamad, 2006). Maka sinar-X dapat dijelaskan menggunakan hukum-hukum cahaya.

Citra radiografi dianggap sebagai sebuah bayangan yang diperoleh jika sebuah objek dikenai radiasi sinar-X. Sehingga kualitas radiografi dipengaruhi jarak antara objek dengan film dan detektor.



Gambar 2.6. Ilustrasi prinsip secara umum geometri formasi bayangan (Quinn & Sigl, 1980).

Gambar 2.6 menyatakan bahwa sinar-X dari titik L mengenai lembaran C, dan objek O yang tak tembus sinar-X diletakkan di anatar sumber sinar-x dan lembaran. Lihat gambar A, E dan F. *Focal spot* yang berupa titik maka citra yang

dihasilkan sangat tajam meskipun penampangnya miring dan posisi objek tidak dipusat sinar. Lihat gambar B, C dan D. *Focal spot* yang berupa luasan akan menghasilkan zona penumbra, sehingga muncul efek blur pada citra. Lihat gambar B dan C terlihat bahwa *focal spot* dengan ukuran sama namun jarak sumber dengan objek berbeda menghasilkan lebar penumbra yang berbeda.

Bayangan objek akan terbentuk pada permukaan lembaran. Bayangan dari objek akan secara alami menunjukkan beberapa perbesaran karena objek tidak kontak dengan lembaran. Derajat perbesaran bervariasi sesuai dengan jarak relatif objek dari lembaran dan dari sumber cahaya. Perbesaran bayangan bisa ditentukan berdasarkan perbandingan diameter objek dengan diameter bayangan sama dengan perbandingan jarak sumber cahaya dari objek dengan jarak sumber sinar-X dari lembaran (Putra, 2006).

Ada hubungan antara ukuran focal spot dan geometri citra (Li, 2016). Secara pendekatan geometri, ukuran focal spot efektif akan mempengaruhi lebar penumbra. Gambar 2.6 (A) dan (C) menunjukkan pada jarak yang sama, besar objek yang sama namun ukuran focal spot efektif yang berbeda, akan menghasilkan citra yang berbeda. Gambar 2.6 (A) tidak ada penumbra artinya citra yang dihasilkan berada pada ketajaman maksimal, sedangkan (B) citra menghasilkan lebar penumbra menyebabkan citra (B) tidak tajam.

Berdasarkan prinsip geometri ada hubungan jarak sumber ke objek dengan lebar penumbra. Gambar 2.6 (B) dan (C) menunjukkan ukuran focal spot sama dan besar objek yang sama namun jarak sumber ke objek berbeda, akan menghasilkan citra yang berbeda. Gambar (B) lebar penumbra lebih besar daripada Gambar (C). Semakin pendek jarak sumber ke objek dengan jarak objek ke layar yang sama menghasilkan lebar penumbra yang semakin besar. Gambar (B) dan (D) menunjukkan jarak dari sumber ke layar yang sama dan ukuran objek yang berbeda namun jarak objek ke layar berbeda, akan menghasilkan citra yang berbeda. Gambar (B) lebar penumbra lebih besar daripada Gambar (D). Semakin pendek jarak objek ke layar maka lebar penumbra akan semakin kecil, sehingga citra yang dihasilkan semakin tajam.

2.8. *Pinhole*

Pinhole alat ukur dimensi *focal spot* berupa lembaran tipis material dengan nilai attenuasi tinggi untuk sinar gamma atau sinar-X, yang mempunyai lubang kecil, yang dalam pemakaiannya ditempatkan di antara *focal spot* dan film (Djoko *et al*., 2012).

Gambar 2.7. Desain *pinhole*.

Gambar 2.7 desain *pinhole* berbahan alumunium dengan ketebalan 8 mm dan 10 mm. Plat alumunium dilubangi dengan diameter 1, 2, 4, dan 7 mm.

Pinhole di buat dengan material tipis dengan orde mm. Material tersebut dapat berupa paduan emas dan platinum, tungsen, tungsen karbid, paduan tungsen, paduan platinum dan iridium, tantalum dan alumunium.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Citra dengan FHD 80 cm memiliki lebar penumbra yang paling kecil, maka hasil citra nampak paling tajam sedangkan citra dengan FHD 30 cm memiliki lebar penumbra besar sehingga nampak tidak tajam. Dengan nilai FFD yang sama maka semakin kecil jarak FHD citra yang dihasilkan semakin berkurang ketajaman.
2. Nilai rata-rata *focal spot* efektif di pusat sinar yang memenuhi standar adalah pinhole dengan diameter 4, dan 7 mm

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Hendaknya bahan yang digunakan untuk penelitian yang memiliki koefisien serap yang lebih tinggi dari alumunium sehingga bahan yang digunakan menjadi lebih tipis guna mengefektifkan lebar penumbra.
2. Hendaknya ukuran lubang sesuai dengan luas penyinaran, tentunya harus mengetahui kisaran perbesaran citra dengan pengaruh jarak.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E 1165 – "Standard Test Method for Measurement of Focal Spots of Industrial X-Ray Tubes by Pinhole Imaging", *Book of Standards, Volume 03.03* http://www.astm.org/Standards/E1165.htm

Audrey, K., M. Jason, J. Gregory, Gibbons, B. Julia, E. Thomas, A. Mark, & S. Wifrid. 2016. Modelling The Penumbra in Computed Tomography. *Journal of X-Ray Science and Technology* 24 (2016): 583-597. ISSN 0895-3996.

Beth, A.S. 1998. The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents Clinical Applications of Basic X-ray Physics Principles. *RadioGraphics* 1998; 18:731-744.

Bushong, S.C. 2013. Radiologic Sciene for Technologists Physics, Biology, And Protection. Tenth Edition. Elsevier Mosby. Texas.

Diah, P. 2011. Teknik Pengolahan Citra Digital Berdomain Spasial untuk Peningkatan Citra Sinar-X. *KomuniTi, Vol. II, No. 2*

Djoko, M., S. Purnomo, & E. P. Rini. 2012. Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Pinhole dan Multihole Untuk Pengukuran Dimensi Focal Spot Pesawat Sinar-X. *SDM Teknologi Nuklir. ISSN 1978-0176.*

Dwi, R., P. Tiara, & H. Sugeng. 2017. Analisis Pengujian Sistem Kolimasi Pesawat Mobile Unit Sinar-X Merk Toshiba DRX-1603B di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah R.A. Kartini Jepara. *Jurnal Radiografi dan Imaging. ISSN: 2354-6433.*

Eif, S., Nehru, & Nurhidayah. 2017. Pengaruh Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra Radiografi. *JoP, Vol. 3 NO. 1*. ISSN 2502-2016.

Felda, S., Ratnawati, & S. Balik. 2014. Pengaruh Perubahan Jarak Objek ke Film terhadap Pembesaran Objek pada Pemanfaatan Pesawat Sinar-X, TYPPE CGR. *Buletin Fisika Vol 15* No. 2 Agustus 2014: 15-21.

Fourmaux, S., & J.S. Kieffer. 2015. Laser-Based K-alpha X-Ray Emission Characterization Using a High Contrast Ratio and High-Power Laser System. Applied Physics B-Laser And Optics, 122 (6): 59-77.

Hendee, R. William. 2001. Medical Imaging Physics (4th ed.). Willey Liss. Canada.

Iwoka, G., F. Ewa, P. Katarzyna, & S. Witold. 2016. Estimation of the effective focal spot in medical diagnostic X-ray tube assemblies. *Pol J Med Phys Eng 2016*; 22(2):25-33.

Li, X., X. Qin, Y. Li, & Y. Liu. 2016. The Relationship Between The Size of X-Ray Focal Spot and Image Geometry Definition. Proc. of SPIE Vol. 10141, 101411B.

Meredith, W.J. 1997. Fundamental Physics of Radiology (3th ed.). John Wright and Sons LTD. USA.

Monique, C.K., & L.N. Edward. 1992. Radiographic Detail and Variation of the Nominal Focal Spot Size: The "Focal Effect". *RadioGraphics 1992*; 12:753-761.

Muhamad. 2006. Penentuan Perbesaran Citra Pada Sistem Radiografi Digital Dengan Metode Pencitraan Lubang Jarum. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Putra, A. P. 2006. Kajian Kinerja Sistem Radiografi Digital Menggunakan Kisi Lubang Sebagai Indikator. Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Quinn, R.A., & C.C. Sigl. 1980. Radiography In Modern Industry. New York: Eastman Kodak Company.

Rahmayanti, B. Abdullah, & B. Armynah. 2015. Analisis Pengaruh Perubahan Ukuran Focal Spot dari Sinar-X Terhadap Densitas Film Radiografi. Skripsi. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Romano, F.P. 2013. A New X-Ray Pinhole Camera for Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Imaging with High-Energy And High-Spatial Resolution.Catania: Dipartimento di Fisica e Astronomia, Universita di Catania.

Sinead, G., & C. Patrick. 2010. Impact of Focal Spot Size on Radiologic Image Quality: a Visual Grading Analysis. *Radiography* (2010) 16, 304 – 313.

Susilo, Supriyadi, Sutikno, Sunarno, & R. Setiawan. 2014. Rancang Bangun Sistem Pencitraan Radiografi Digital untuk Pengembangan Laboratorium Fisika Medik Unnes. *Sainteknol: Jurnal Sains dan Teknologi*, 12 (1).

Susilo, Sunarno, E. Setiowati, & L. Lestari. 2010. Rancang Bangun Sistem Pencitraan Radiografi Digital untuk Pengembangan Layanan RS Daerah dalam Pelaksanaan Otonomi Daerah dan Desentralisasi. *Laporan Penelitian Hibah Unggulan Strategis Nasional-Tahun ke-1. DP2M-DIKTI.*

Timothy, A., B. Romilly, H. Kylie, H. Mattew, M. Shane, R. Bethany, & H. Robin, 2005. Edge Sharpness as a Function of Depth in Plain Film Radiography. *The Radiographer* 2005; 52 (3): 13-16.

Shanghai Guangzheng Medical Equipment Co. http://m.alibaba.com (13 Jan. 2019)