



**KAJIAN *STEPWEDGE* BERBAHAN DASAR RESIN
SEBAGAI PENGGANTI JARINGAN LUNAK DALAM
SISTEM RADIOGRAFI DIGITAL**

Skripsi
disusun sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika

oleh
Dewi Anggrahani Sutrisno
4211411044

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2015**

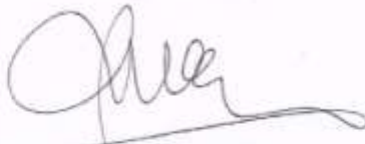
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi dengan judul "**Kajian *Stepwedge* Berbahan Dasar Resin Sebagai Pengganti Jaringan Lunak dalam Sistem Radiografi Digital**" telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang pada

hari : Selasa

tanggal : 8 September 2015

Pembimbing I



Prof. Dr. Susilo, M.Si.

NIP. 195208011976031006

Pembimbing II



Dr. Masturi, S. Pd., M. Si.

NIP.198103072006041002

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di Universitas Negeri Semarang (UNNES), dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 17 September 2015



Dewi Anggrahani S

4211411044

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

“Kajian *Stepwedge* Berbahan Dasar Resin Sebagai Pengganti Jaringan Lunak dalam Sistem Radiografi Digital”

disusun oleh

Nama : Dewi Anggrahani Sutrisno

NIM : 4211411044

telah dipertahankan dihadapan sidang panitia ujian skripsi FMIPA Unnes pada tanggal 17 September 2015



Panitia :

Ketua

Prof. Dr. Wiyanto, M.Si
NIP. 19631012 198803 1 001

Sekretaris

Dr. Khumaedi, M.Si
NIP. 19630610 198901 1 002

Ketua Penguji

Sunarno, S.Si, M.Si
NIP. 19720112 199903 1 003

Anggota Penguji/

Dosen Utama

Prof. Dr. Susilo, M.Si.
NIP. 19520801 197603 1 006

Anggota Penguji/

Dosen Pendamping

Dr. Masturi, S. Pd., M. Si.
NIP. 19810307 200604 1 002

MOTTO

- Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah apa yang terdapat dalam diri mereka” (Q.S. Ar. Ra’ad ayat 11)
- Allah tidak akan membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya (Q.S. Al-Baqoroh ayat 286).

PERSEMBAHAN

Untuk keluargaku tercinta,
saudaraku, sahabatku, dan diri
sendiri

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Prof. Dr. Susilo, M. Si., Pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Masturi, S. Pd., M. Si., Pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
3. Prof. Dr. Supriyadi, M. Si, Kepala Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang
4. Rudy Setiawan (Undip) dalam membantu penelitian
5. Bapak, ibu tercinta dan terkasih yang selalu menjadi sumber inspirasi untuk selalu berjuang.
6. Sahabat-sahabatku (Astrid, Tyas, Ima, Handika, Azka, Uzi, Kristian, dan Noni) yang selalu menyemangati disaat putus asa.
7. Teman-teman lab. Medik yang selalu membantu selama penelitian
8. Teman-teman Fisika angkatan 2011 khususnya Rohmad, Habibi, dan Retno yang selalu menjadi teman diskusi
9. Temanku dari Jurusan Teknik Mesin (Bernard, Ahmad Hakim S., dan Imam Murdianto) dalam membantu proses penelitian

10. Teman-teman “Dreem House” yang selalu memberikan pelajaran hidup yang berharga.

11. Saudara-saudaraku di Persaudaraan Setia Hati Teratai

12. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari keterbatasan kemampuan yang dimiliki sehingga skripsi ini jauh dari sempurna. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca. Amin.

Penulis

ABSTRAK

Sutrisno, D. A. 2015. *Kajian Stepwedge Berbahan Dasar Resin Sebagai Pengganti Jaringan Lunak dalam Sistem Radiografi Digital*. Skripsi, Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.Si. dan Pembimbing Pendamping Dr. Masturi, M.Si

Kata kunci: *stepwedge*, resin, radiografi digital, Matlab

Sinar-X mampu membedakan kerapatan dari berbagai jaringan dalam tubuh manusia. Namun diperlukan teknik radiografi khusus untuk eksposi terhadap jaringan lunak. Sinar-X sangat berbahaya bagi tubuh karena memiliki daya ionisasi dan daya tembus yang besar, sehingga penggunaan phantom untuk eksperimen terhadap sinar-X sangat penting. Phantom di dunia medis sangat mahal, oleh karena itu, pembuatan phantom berbentuk stepwedge berbahan dasar resin sebagai salah satu solusi yang mudah didapatkan dipasaran.

Pembuatan stepwedge, diawal dengan mencetak resin dan membentuk dengan alat turrent milling. Untuk menghasilkan kontras citra yang baik pada sistem radiografi digital perlu dilakukan variasi faktor eksposi yaitu nilai tegangan (kV) antara 45 sampai 50 kV dan faktor geometri yaitu focus to film distance (FFD) antara 80 sampai 100 cm pada kuat arus 32 mA dan waktu eksposi 0,1 s. Citra radiograf dari stepwedge yang diekspos berbentuk file bertipe*.JPG kemudian dianalisis dengan Matlab. Untuk mengetahui kekontrasan citra yang baik, dapat dilakukan secara kualitatif (penglihatan mata) dan kuantitatif (analisis gray level).

Secara kualitatif, semakin tebal objek, semakin kontras antara objek dan kontras objek dan background. Pada variasi nilai tegangan (kV), citra didapatkan hampir sama kekontasannya dan pada variasi FFD (cm), semakin jauh FFD maka semakin kontras citra radiograf yang didapat. Hasil analisis gray level dengan persamaan transmitansi sinar-X melewati bahan menunjukkan bahwa hubungan antara ketebalan objek terhadap $\ln \frac{GL_0}{GL_x}$ berbanding lurus. Semakin tebal objek maka semakin besar nilai $\ln \frac{GL_0}{GL_x}$ dan sebaliknya. Hasil penelitian juga dapat diperoleh pada eksposi dengan kuat arus 32 mA dan waktu eksposi 0,1 s didapatkan nilai tegangan 45 kV dan FFD 100 cm adalah nilai optimal dibanding variasi lainnya untuk mendapatkan kualitas citra yang baik.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN.....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	iv
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Prinsip Sinar-X.....	6
2.1.1 Sinar-X K karakteristik	7

2.2.2	Sinar-X Breamstrahlung.....	9
2.2	Sistem Digitalisasi Radiografi.....	11
2.2.1	Sistem computed radiography (CR).....	11
2.2.2	Sistem radiografi digital (RD).....	12
2.3	Faktor kualitas Hasil Radiografi Digital.....	14
2.3.1	Faktor eksposi untuk citra digital.....	14
2.3.2	Faktor kualitas citra.....	15
2.3.3	Faktor Geometri	16
2.4	Jaringan Lunak	18
2.4.1	Subnormal kVp	19
2.4.2	KVp rendah	20
2.4.3	KVp tinggi.....	20
2.5	Interaksi Sinar-X dengan Materi	22
2.5.1	Efek Compton	23
2.5.2	Efek fotolistrik	23
2.6	Resin.....	26
2.7	Analisis dengan Matlab	28
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		30
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	30
3.2	Alat dan Bahan	30
3.3	Metode Penelitian.....	30
3.4	Tahapan Penelitian	31
3.4.1	Mencetak resin	33
3.4.2	Membentuk dengan alat <i>turrent milling</i>	36
3.4.3	Ekspose terhadap sinar-X.....	37

3.4.4	Analisis dengan Matlab.....	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		39
4.1	<i>Stepwedge</i> berbahan resin	39
4.2	Analisis citra radiograf dengan Matlab	40
4.2.1	Variasi nilai tegangan (kV)	43
4.2.2	Variasi focus to fim distance (FFD).....	46
BAB 5 KESIMPULAN		50
5.1	Simpulan.....	50
5.2	Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN.....		55

DAFTAR TABEL

Tabel	halaman
2.1 Nomor atom efektif jaringan penting untuk diagnostik radiografi.....	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
Gambar 2.1 Diagram tabung sinar-X.....	6
Gambar 2.2 Sinar-X K karakteristik	8
Gambar 2.3 Deret sinar-X	9
Gambar 2.4 Sinar-X Bremsstrahlung	10
Gambar 2.5 Sistem computed radiography (CR).....	12
Gambar 2.6 Sistem radiografi digital.....	13
Gambar 2.7 Efek Heel	18
Gambar 2.8 Hasil radiograf jaringan lunak pada pemeriksaan payudara	21
Gambar 2.9 Pasien struma.....	21
Gambar 2.10 Hasil radiograf jaringan lunak struma	21
Gambar 2.11 Ilustrasi paparan sinar-X terhadap objek berbentuk stepwedge	22
Gambar 2.12 Efek Compton	23
Gambar 2.13 Efek fotolistrik	24
Gambar 2.14 Hubungan antara linier attenuasi dengan nilai tegangan (kV)	25
Gambar 3.1 skema tahapan penelitian.....	32
Gambar 3.2 Cetakan resin	33
Gambar 3.3 Resin bening Eternal 2441PI, Cobalt n24/21 dan katalis Mepoxe	34
Gambar 3.4 Mencetak resin bening	35
Gambar 3.5 Resin yang dikeluarkan dari cetakan.....	35
Gambar 3.6 Stepwedge berbahan resin	36

Gambar 3.7 Alat membentuk <i>stepwedge</i> resin.....	37
Gambar 3.8 Sistem radiografi digital pada Lab. Fisika Unnes	38
Gambar 3.9 Tampilan GUI Matlab	38
Gambar 4.1 Tampilan GUI Matlab pada analisis citra radiograf.....	42
Gambar 4.2 Citra radiograf dengan variasi nilai tegangan (a) 45 kV (b) 47,5 kV (c) 50 kV	44
Gambar 4.3 Hubungan antara ketebalan (cm) terhadap $\ln \frac{GL_x}{GL_0}$ pada variasi nilai tegangan (kV).....	45
Gambar 4.4 Citra radiograf dengan variasi FFD (a) 80 cm (b) 90 cm (c) 100 cm	46
Gambar 4.5 Hubungan antara ketebalan (cm) dengan $\ln \frac{GL_x}{GL_0}$ pada variasi nilai FFD (cm)	47

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel	halaman
Analisis data.....	55
Source code Matlab.....	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sinar-X mampu membedakan kerapatan dari berbagai jaringan dalam tubuh manusia yang dilewatinya, sehingga di dunia kedokteran digunakan sebagai diagnosa kelainan. Jaringan lunak tubuh (*soft-tissue*) yang terdiri dari otot, syaraf, fascia dan tendon merupakan suatu jaringan dengan kerapatan dan nomor atom yang rendah, Whitley (2005) mengemukakan bahwa teknik radiografi jaringan lunak merupakan teknik umum yang digunakan untuk radiografi otot, kulit, dan jaringan grandular tanpa menggunakan media kontras. Teknik radiografi jaringan lunak biasanya digunakan dalam pemeriksaan payudara (*mammography*) dimana payudara umumnya hanya terdiri jaringan lemak (*adipose tissue*) dan jaringan kelenjar susu (*fibroglandullar*) dan pemeriksaan radiografi jaringan tulang leher laring dan pharing atau pada pasien *struma* yaitu pembengkakan pada leher oleh karena pembesaran kelenjar tiroid.

Faktor yang mempengaruhi nilai intensitas sinar-X yang mengekspose suatu objek adalah perbedaan koefisien absorpsi linier dan perbedaan ketebalan objek. Jaringan lunak penyusun tubuh seperti otot (*muscle*) dan lemak (*fat*) memiliki koefisien absorpsi linier yang hampir sama, sehingga secara teori nilai kontras radiografinya rendah. Menurut

Whitley (2005), teknik eksposi jaringan lunak diperlukan nilai tegangan tabung (kV) yang rendah untuk mendapatkan citra yang baik. Oleh karena itu diperlukan optimasi untuk menentukan faktor eksposi jaringan lunak.

Radiasi sinar-X sangat berbahaya bagi tubuh karena sinar-X memiliki daya ionisasi dan daya tembus yang besar. Oleh karena itu Penggunaan *phantom* sangat penting digunakan untuk pembelajaran dalam eksposi menggunakan sinar-X agar tidak langsung bereksperimen dengan manusia. Pembuatan *phantom* di dunia medis cukup mahal, sehingga digunakan *phantom* berbahan dasar resin yang mudah didapatkan di pasaran. *Phantom* yang dibuat dalam bentuk berbentuk *stepwedge*, digunakan untuk mengetahui pengaruh radiasi terhadap ketebalan setiap *stepnya*. Paparan sinar-X yang dikenakan pada objek *stepwedge* menghasilkan radiograf yang bisa menggambarkan intensitas piksel dari tiap-tiap ketebalan (Hayat *et al*, 2013).

Penelitian yang dilakukan Fridawanti (2012), menggunakan radiografi konvensional yang kurang efisien. Oleh karena itu menggunakan sistem radiografi digital yang outputnya berupa *file* yang dapat diproses melalui pengolahan citra. Penelitian sebelumnya menggunakan alat densitometer untuk menghitung nilai kontras, sedangkan penelitian ini menggunakan analisis *gray level* pada Matlab. Penelitian yang dilakukan Lu *et al* (2003) menggunakan *contrast-detail phantom* untuk mengetahui perbedaan antara CR dan radiografi konvensional. *Contrast-detail phantom* dapat mendeteksi beberapa faktor antara lain derau, tingkat

paparan radiasi, resolusi spasial, resolusi kontras, dll. Pembuatan *phantom* tersebut sulit untuk dilakukan, sehingga untuk mendeteksi faktor tersebut adalah pembuatan *phantom* berbentuk *stepwedge*. Susilo *et al* (2011) juga meneliti tentang *stepwedge* dari bahan akrilik padatan yang disusun sehingga *stepwedge* tidak homogen, sedangkan penelitian ini mencetak dan memotong resin bening sehingga *stepwedge* bersifat homogen.

Berdasarkan uraian latar belakang maka peneliti tertarik untuk mengangkat judul penelitian “**Kajian *Stepwedge* Berbahan Dasar Resin Sebagai Pengganti Jaringan Lunak pada Sistem Radiografi Digital**”.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut

1. Apakah resin dapat digunakan sebagai bahan *stepwedge* untuk pengganti jaringan lunak dalam sistem radiografi digital
2. Bagaimana faktor eksposi sinar-X terhadap *stepwedge* berbahan dasar resin yang optimal
3. Bagaimana hubungan transmitansi terhadap ketebalan pada *stepwedge* berbahan dasar resin

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan sistem radiografi digital yang ada pada laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang
2. Analisis hasil citra radiograf dengan menggunakan *software* Matlab 2009

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui *stepwedge* berbahan dasar resin sebagai pengganti jaringan lunak
2. Mengetahui faktor eksposi *stepwedge* berbahan resin yang optimal
3. Mengetahui hubungan transmitansi terhadap ketebalan *stepwedge* berbahan dasar resin

1.5 Manfaat Penelitian

Bagi mahasiswa dan pembaca skripsi ini dapat digunakan sebagai model pembelajaran eksposi sinar-X dan dapat sebagai bahan pustaka untuk penelitian di bidang terkait.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian pendahuluan skripsi, bagian isi skripsi dan bagian akhir skripsi. Bagian awal skripsi terdiri dari halaman judul, persetujuan pembimbing, pengesahan pembimbing, pengesahan kelulusan, pernyataan, motto dan persembahan, daftar isi, daftar tabel dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi terdiri dari 5 bab yang terdiri dari Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Landasan Teori, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Hasil dan Pembahasan, serta Bab 5 Kesimpulan dan Saran.

Bab 1 berisi tentang Latar Belakang Masalah, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah serta Sistematika Penulisan.

Bab 2 berisi tentang teori-teori dan konsep-konsep yang mendasari penelitian.

Bab 3 membahas aspek-aspek metodologi penelitian mencakup desain penelitian, diagram alir metode penelitian, prosedur penelitian, metode pengumpulan data dan metode analisis data.

Bab 4 membahas tentang hasil-hasil penelitian dan pembahasannya dengan mengacu pada teori sebagaimana dikendalikan oleh Bab 2.

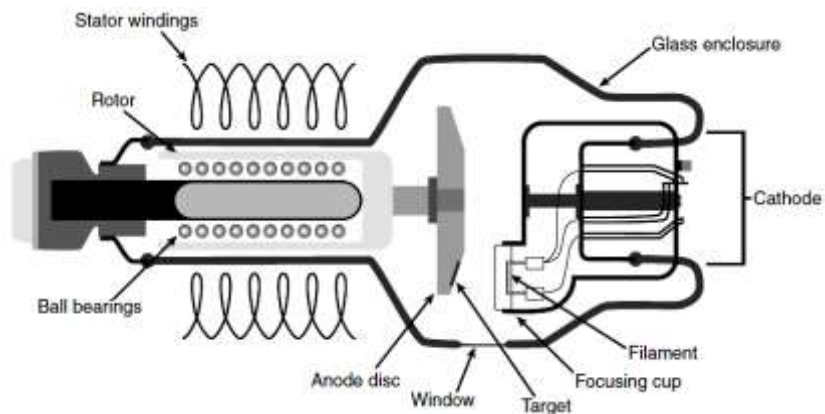
Bab 5 berisi simpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian. Pada bagian akhir skripsi terdapat daftar pustaka dan lampiran

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Sinar-X

Dalam tahun 1895, Wilhem C. Rontgen mendapatkan bahwa sehelai kertas yang dilapisi *Barium platinocyanide* berkilau jika ia menghidupkan tabung sinar katoda di dekatnya, walaupun tabung itu ditutup tabung hitam. Dalam tabung katoda tersebut dipercepat dalam vakum oleh medan magnet. Tumbukan elektron dengan gelas pada ujung tabung inilah yang menimbulkan sinar yang dinamakan sinar-X karena sifatnya belum diketahui (Beiser, 1987).



Gambar 2.1 Diagram tabung sinar-X

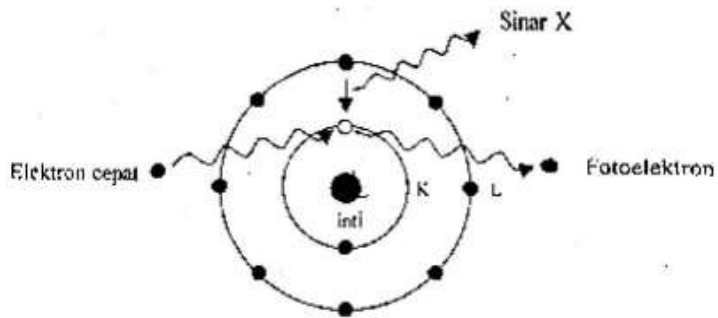
(Sumber: Carroll, 2011)

Secara skematik, seperti Gambar 2.1, sebuah katoda yang dipanasi oleh filamen berdekatan dengan arus listrik yang menyediakan elektron yang terus menerus dengan emisi termionik di ruang vakum. Sehingga

terjadi perbedaan potensial yang tinggi V dipertahankan antara katoda dengan target logam (anoda) (Beiser, 1987). Elektron yang dekat dengan anoda akan langsung ditarik ke anoda sehingga terjadi *hole*. *Hole* ini akan diisi oleh elektron berikutnya, tempat yang ditinggalkan ini akan menjadi *hole* kembali dan akan terjadi terus menerus, sehingga terjadi arus elektron yang berkebalikan dengan arus listrik. Perpindahan ini menghasilkan suatu gelombang elektromagnetik yang panjang gelombangnya berbeda-beda. Berdasarkan proses terjadinya, sinar-X dibagi menjadi dua, yaitu:

2.1.1 Sinar-X K karakteristik

Menurut Krane (1992) bahwa spektrum sinar-X terjadi ketika atom target pada anoda ditumbuk oleh elektron cepat yang memiliki energi kinetik sama atau lebih tinggi dari energi atom target. Interaksi antara keduanya yang mengakibatkan elektron pada atom menyerap energi kinetik elektron cepat sehingga mempunyai energi yang cukup untuk tereksitasi seperti ilustrasi pada Gambar 2.2. Hal ini dapat menimbulkan ruang kosong (*hole*). Untuk mengisi kekosongan tersebut elektron dari kulit luar atau elektron dengan energi level yang lebih tinggi untuk bertransisi ke *hole* dengan memancarkan radiasi sinar-X dalam bentuk foton karakteristik. Semua sinar-X yang dipancarkan dalam proses mengisi kekosongan ini dikenal sebagai sinar-X K karakteristik.



Gambar 2.2 Sinar-X K karakteristik

(Sumber: Pratiwi, 2006)

Menurut Beizer (1987) total elektron (E_n) pada kulit ke- n dinyatakan sebagai berikut,

$$E_n = \frac{-Z^2 m e^4}{2 \hbar^2 n^2} \dots\dots\dots (1)$$

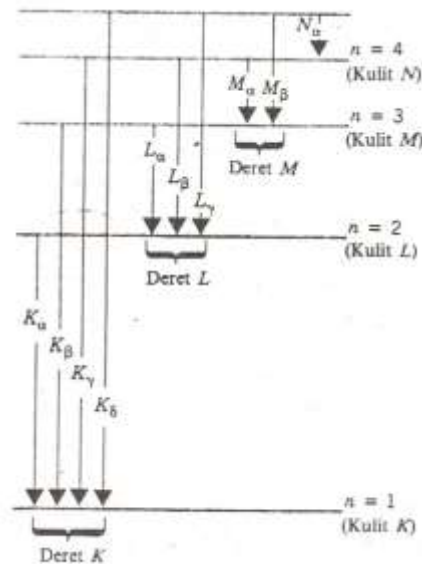
sedangkan besar energi foton yang terpancar ketika elektron berpindah yaitu:

$$h\nu = E_2 - E_1 \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

- E_1 = energi kinetik pada kulit *hole*, eV
- E_2 = energi kinetik pada kulit yang lebih tinggi, eV
- h = konstanta Planck ($6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
- ν = frekuensi foton sinar-X
- Z = nomor atom
- m = massa elektron ($9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$)
- e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
- n = bilangan kuantum utama (orde kulit atom) = 1, 2,..
- \hbar = $\frac{h}{2\pi}$ ($1,054 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

Sinar-X K karakteristik yang muncul bergantung kulit yang terdapat *hole* dan kulit elektron yang mengisi *hole* tersebut. Untuk penamaannya bergantung kulit yang terdapat *hole* bukan kulit elektron yang mengisi *hole*. Misal sinar-X K yang berasal dari kulit L dikenal sebagai sinar-X K_{α} , dan sinar-X K yang berasal dari tingkat-tingkat yang lebih tinggi dikenal sebagai K_{β}, K_{γ} , dan seterusnya seperti pada Gambar 2.3.



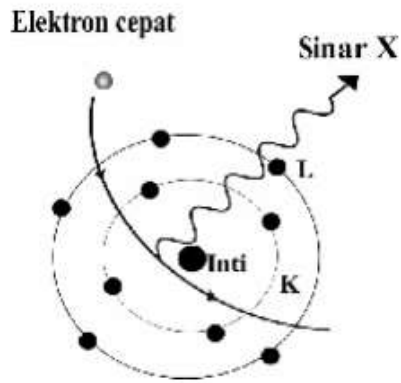
Gambar 2.3 Deret sinar-X

(Sumber: Krane, 1992)

2.2.2 Sinar-X Breamstrahlung

Menurut Krane (1992) bahwa spektrum sinar-X terjadi ketika elektron cepat menumbuk atom target melalui lintasan dekat inti atom target, maka elektron mengalami perlambatan secara tiba-tiba, sehingga menyimpang dari arah semula seperti pada Gambar 2.4. Dalam proses ini

terjadi pentransferan momentum dari elektron berkecepatan tinggi ke atom target, sehingga memancarkan radiasi sinar-X.



Gambar 2.4 Sinar-X Bremsstrahlung

(Sumber: Pratiwi, 2006)

Jadi, produksi sinar-X merupakan efek fotolistrik balik. Energi kinetik elektron ditransformasikan menjadi energi foton. Fungsi kerja hanya beberapa elektronvolt, sedangkan potensial pemercepat dalam tabung Sinar-X biasanya puluhan atau ratusan ribu volt, dengan mengabaikan fungsi kerja dan menaksirkan batas panjang gelombang terkecil, seluruh energi kinetik elektron $K = eV$ dari elektron yang datang seluruhnya diberikan pada foton tunggal berenergi $h\nu_{maks}$. Duane dan Hunt menemukan secara eksperimen bahwa λ_{min} berbanding terbalik dengan V . Hubungan yang tepat dinyatakan oleh (Beiser, 1987)

$$K = h\nu - \Phi \dots\dots\dots (3)$$

$$eV = K = h\nu_{maks} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} = \frac{1,24 \times 10^{-6} \text{ V.m}}{V} \dots\dots\dots (5)$$

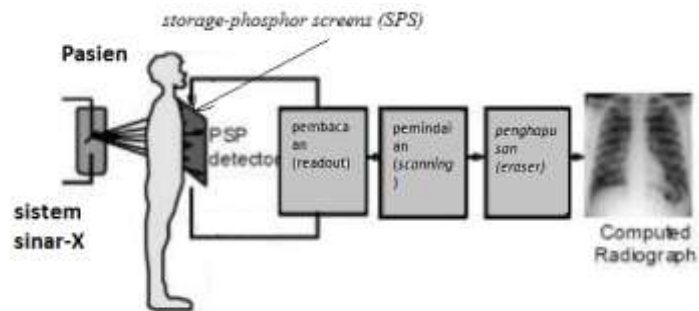
2.2 Sistem Digitalisasi Radiografi

Digitalisasi radiografi dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu:

2.2.1 Sistem computed radiography (CR)

CR merupakan teknologi digitalisasi radiografi yang pertama. CR berbasis layar penyimpanan fosfor (*storage-phosphor screens/SPS*) dan diaplikasikan pertama oleh Fuji pada awal 1980. Teknologi ini menggunakan detektor *photostimulable* menggantikan *screen film* (SF) pada kaset *imaging plate* (IP). Seperti Gambar 2.5, Lanca (2008) menjelaskan bahwa pada dasarnya proses CR dibagi menjadi tiga, yaitu eksposi, pembacaan, dan penghapusan. Eksposi merupakan proses pembentukan gambar laten. Ketika SPS terpapar sinar-X mengakibatkan elektron berpindah dari pita valensi ke pita konduksi. Elektron yang berpindah menyerap sinar-X dan terjebak di energi level tinggi yang stabil. Hal ini dikarenakan elektron pada SPS detektor berada pada keadaan energi tinggi mengalami distribusi spasial. Proses selanjutnya merupakan pembacaan, citra laten dibuat bermuatan dengan penyinaran dengan laser berjarak dekat. Sinar laser menyebabkan elektron yang terperangkap dibebaskan dan kembali ke pita valensi dengan memancarkan emisi cahaya biru. Sinar yang dikumpulkan oleh fotodiode dan diubah menjadi muatan listrik untuk menampilkan citra digital dengan perangkat *analog to digital*. Langkah terakhir adalah menghapus sinyal residu. Residu elektron pada citra laten yang masih terjebak di energi level yang lebih tinggi setelah pembacaan. Bushong (2001) mengemukakan bahwa resolusi CR

tidak sebagus radiografi konvensional namun resolusi kontrasnya lebih bagus karena pemrosesan citra bertahap.



Gambar 2.5 Sistem computed radiography (CR)

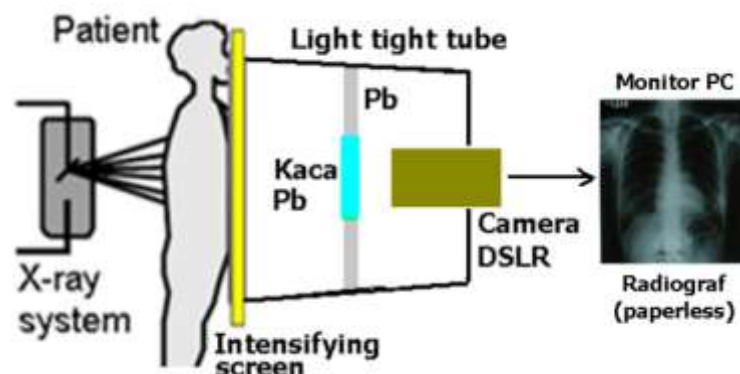
(Sumber: susilo et al, 2011)

2.2.2 Sistem radiografi digital (RD)

Radiografi digital merupakan bentuk pencitraan sinar-X dengan melakukan proses konversi citra menggunakan tabung kedap cahaya berbasis *X ray intensifying screen* yang dihubungkan dengan suatu perangkat digital (susilo et al, 2011). Sehingga memberi keleluasaan bagi radiografer untuk memperoleh hasil radiograf yang baik dibanding menggunakan radiografi konvensional (Retno et al, 2014). Hasil radiografi digital juga menyajikan citra struktur anatomi dua dimensi yang berbentuk *file*. Citra tersebut merupakan numerik yang mempresentasikan hasil intensitas sinar-X yang ditransmisikan melewati pasien. Citra tersusun dari piksel, sedangkan piksel merupakan matrik dari elemen citra (Bontranger, 2010).

Penelitian yang dilakukan Susilo (2014) dengan mengembangkan format teknologi radiografi digital yang *mobile* untuk pencitraan medis sehingga masalah pengadaan peralatan tidak banyak membebani anggaran rumah sakit. RD yang dikembangkan menggunakan komponen-komponen yang ada di pasar domestik atau regional.

Secara skematis seperti Gambar 2.6, sistem radiografi digital dengan menggunakan sinar-X yang memberi paparan pada objek, kemudian mengenai unit tabung kedap cahaya (*light tight tube*) yang berbasis *intensifying screen*. *Intensifying screen* yang sensitif terhadap sinar-X berfungsi mengubah sinar-X menjadi cahaya tampak, selanjutnya bayangan yang terbentuk dari objek dapat ditangkap oleh kamera DSLR (susilo *et al*, 2014). Untuk dapat menampilkan pada PC, dilakukan pengaturan antara kamera DSLR dan *software* penangkap gambar sehingga pemrosesan film dalam radiografi konvensional tidak diperlukan lagi (susilo *et al*, 2013).



Gambar 2.6 Sistem radiografi digital

(Sumber: susilo *et al*, 2014)

2.3 Faktor kualitas Hasil Radiografi Digital

Faktor kualitas hasil radiografi digital dibedakan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut

2.3.1 Faktor eksposi untuk citra digital

Faktor eksposi merupakan faktor untuk menentukan produksi sinar-X. Penjelasan sebagai berikut (Bontranger, 2010):

2.3.1.1 Tegangan tabung (kV)

Tegangan tabung (kV) merupakan kontrol energi yang memproduksi sinar-X. nilai tegangan yang tepat diperlukan teknologis untuk memperlihatkan ketebalan jaringan dengan dosis rendah untuk pasien. Dibandingkan dengan radiografi konvensional, perubahan nilai tegangan berdampak kecil terhadap kontras citra radiograf karena kontras yang dihasilkan merupakan fungsi dari proses digital

2.3.1.2 Kuat arus (mA)

Kuat arus (mA) merupakan kontrol jumlah sinar-X yang diproduksi. Berdasarkan teknologi yang telah digunakan, memungkinkan detektor digital memerlukan jumlah sinar-X kecil untuk digital yang optimal dan telah merepresentasikan informasi anatomi.

2.3.1.3 Waktu eksposi (s)

Waktu eksposi (s) ekspos digunakan untuk menentukan lamanya penyinaran. Semakin lama waktu ekspos, semakin banyak sinar-X yang dihasilkan.

2.3.2 Faktor kualitas citra

Faktor yang digunakan untuk evaluasi kualitas citra digital sebagai berikut (Brontanger, 2010)

2.3.2.1 *Kecerahan*

Kecerahan merupakan Intensitas cahaya yang mempresentasikan individu piksel citra pada monitor. Kecerahan citra bergantung nilai piksel terhadap derajat keabuan minimum (0). Menurut Priyawati (2011), untuk meningkatkan kecerahan citra dapat dilakukan filter pada citra. Operasi matematis dilakukan dengan penambahan piksel dengan nilai tertentu. Pada radiografi konvensional kecerahan digantikan oleh densitas optik (DO). DO merupakan logaritma dari rasio intensitas cahaya yang masuk pada film terhadap intensitas cahaya yang diteruskan melalui film. Secara matematis DO dinyatakan sebagai berikut

$$DO = \log\left(\frac{I_0}{I_x}\right) \dots\dots\dots (6)$$

Dengan I_0 adalah intensitas cahaya yang masuk pada film dan I_x adalah intensitas cahaya yang diteruskan.

2.3.2.2 *Kontras*

Kontras merupakan perbedaan kecerahan antara daerah terang dan gelap di area citra. Bushong (2001) menjelaskan bahwa kontras dihasilkan dari perbedaan atenuasi sinar-X menembus suatu objek. Kontras juga merupakan faktor kualitas citra pada radiografi konvensional.

2.3.2.3 Resolusi

Nilai ketajaman atau detail struktur pada gambar. Resolusi pada radiografi digital merepresentasi sebuah kombinasi dari faktor konvensional (faktor geometri, *focal spot size*, dan gerak) dan penerimaan ukuran piksel. Menurut Bushong (2001) resolusi kontras merupakan kemampuan untuk membedakan struktur anatomi pada objek kontras yang sama, sehingga lebih detail dibedakan.

2.3.2.5 Derau

Derau merupakan gangguan yang acak dimana gangguan bersifat tak jelas atau mengurangi kejelasan pada citra. Nilai derau dapat dihitung dengan *signal to noise ratio* (SNR). *Signal* merupakan jumlah foton sinar X yang tertangkap detektor, sedangkan *noise*/derau merupakan gangguan dari luar akibat pengiriman citra dari alat ke PC yang mempengaruhi hasil citra radiograf. Nilai SNR tinggi diperlukan pada citra dengan nilai *signal* lebih besar dibanding *noise*/ derau.

2.3.3 Faktor Geometri

Faktor geometri yang mempengaruhi kualitas citra sebagai berikut (Bushong, 2001)

2.3.3.1 Perbesaran

Perbesaran merupakan perbandingan ukuran citra dengan ukuran objek yang diekspose sinar-X.

$$\text{Faktor perbesaran} = \frac{\text{ukuran citra}}{\text{ukuran objek}} = \frac{\text{jarak sumber dengan citra (SID)}}{\text{jarak sumber dengan objek (SOD)}} \dots\dots\dots (7)$$

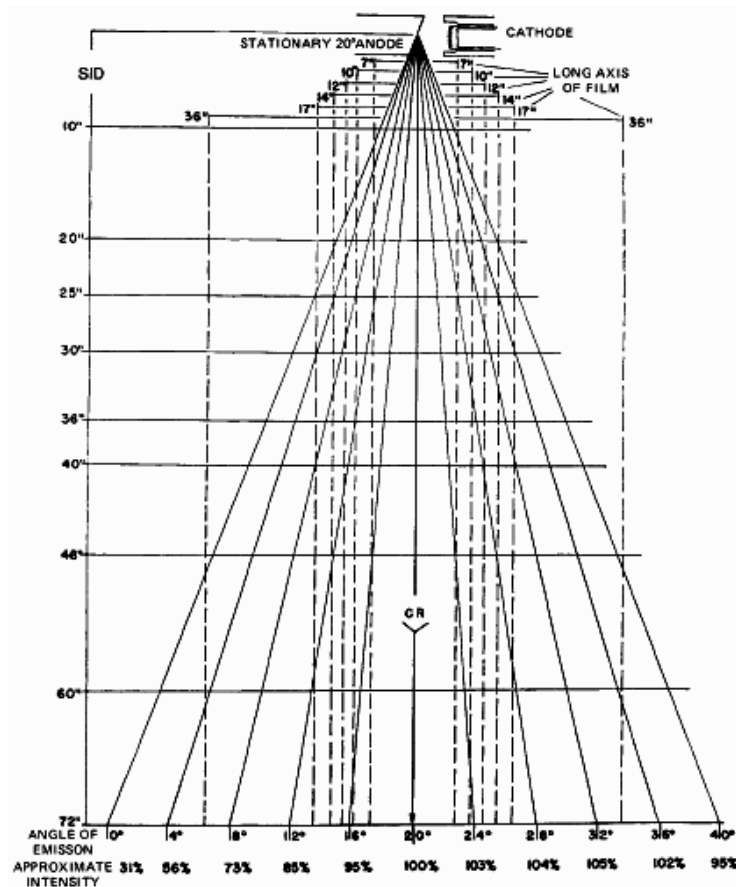
2.3.3.2 Distorsi

Distorsi merupakan cukup tidaknya representasi ukuran atau bentuk objek sebagai hasil citra radiograf. Faktor yang mempengaruhi distorsi adalah ketebalan, letak, dan bentuk objek. Semakin tebal suatu objek semakin besar pula nilai distorsi. Untuk letak objek, seperti *source imaging distance* (SID), *object imaging distance* (OID), fokus titik tengah sinar X. Distorsi terjadi jika bidang objek dan penangkap citra sejajar. Bentuk objek tergantung peletakkan objek terhadap sinar-X. Penyondongan objek menjadikan objek terlihat lebih panjang dibanding objek diletakan mendatar (Bushong, 2001). Distorsi merupakan faktor kualitas dari radiografi digital maupun konvensional. Untuk menghasilkan citra radiograf yang baik diperlukan distorsi yang minimum. Bushong (2001) mengemukakan bahwa distorsi dapat diminimalisir dengan menempatkan bagian objek yang diperlukan pada bidang yang sejajar dengan reseptor citra.

2.3.3.3 Efek Heel

Menurut Bushong (2001) menyatakan bahwa efek *Heel* adalah konsekuensi akibat prinsip garis fokus bahwa intensitas radiasi sinar-X pada sisi katoda lebih besar dibandingkan pada sisi anoda. Ketika objek yang dilalui memiliki perbedaan ketebalan, sinar-X dari sisi anoda akan melintasi ketebalan yang lebih besar dibanding sisi katoda. Gambar 2.7 mengilustrasikan efek Heel anoda dengan sudut yang berbeda. Pada garis secara vertikal menunjukkan jarak SID, jika semakin pendek jaraknya

presentase ekspose lebih terkonsentrasi dan sebaliknya (Carroll, 2011: 3-5).Konsekuensi dari efek *Heel* adalah *focal spot* efektif yang lebih rendah dan intensitas radiasi yang rendah pada sisi anoda tabung sinar-X. *Focal spot* efektif merupakan sisi anoda tabung sinar-X lebih kecil dibanding sisi katoda.



Gambar 2.7 Efek Heel
(Sumber: Carroll, 2011)

2.4 Jaringan Lunak

Menurut Seeley (2000) bahwa Jaringan merupakan kumpulan sel yang sejenis. Organ tubuh manusia diklasifikasi empat utama jaringan,

yaitu jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan syaraf. Menurut Wikipedia (2015) jaringan lunak, dalam histologi, merujuk pada jaringan yang menghubungkan, menyokong, atau mengelilingi struktur dan organ tubuh. Jaringan lunak termasuk otot, tendon, ligamentum, fascia, saraf, jaringan serabut, lemak, pembuluh darah, dan membran sinovial.

Menurut Whitley (2005), radiografi jaringan lunak merupakan teknik umum yang digunakan untuk radiografi otot, kulit, subcutaneous, lemak, dan jaringan kelenjar tanpa menggunakan media kontras. Pada dasarnya untuk pemotretan jaringan lunak umumnya menggunakan kV rendah, hal ini disebabkan karena jaringan lunak memiliki daya absorpsi (penyerapan) terhadap sinar-X yang rendah sehingga apabila menggunakan tegangan tabung (kV) yang tinggi maka struktur yang mempunyai daya attenuasi yang rendah akan kurang tervisualisasi sebab akan lebih banyak sinar-X yang menembus dan sampai ke film.

Teknik eksposi jaringan lunak dibedakan menjadi dua yaitu normal kVp dan non standard kVp. Penggunaan normal kVp ketika dengan kVp yang normal mendapatkan citra radiografi yang diinginkan, misal pembentukan tendon dan tulang secara detail pada sendi bahu. Ketika tidak dihasilkan citra, dapat menggunakan non standar kVp. Non standar kVp dibedakan menjadi tiga kategori sebagai berikut:

2.4.1 Subnormal kVp

Subnormal kVp merupakan kVp yang digunakan kurang dari 45 kVp. KVP subnormal kurang digunakan pada unit instalansi sinar-X.

Penggunaan kVp rendah akan meningkatkan koefisien atenuasi jaringan lunak dan dengan demikian meningkatkan kontras. Contoh penggunaan teknik ini ditemukan dalam mamografi.

2.4.2 KVp rendah

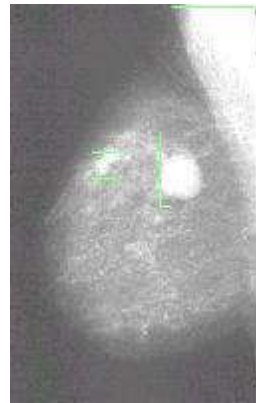
KVp rendah merupakan istilah yang digunakan ketika kVp yang digunakan adalah $\pm 15-20$ kVp dari normal dari pembuatan radiografi untuk menilai struktur tulang yang ada di sekitarnya. Contoh penggunaan teknik ini adalah pembentukan tulang di tungkai, pembentukan arteri atau tendon, pembentukan parasit dan tumor superfisial, biasanya ditunjukkan dalam proyeksi profil daerah

2.4.3 KVp tinggi

KVp tinggi merupakan Istilah kVp yang digunakan adalah 20 kVp atau lebih dari normal untuk biasanya digunakan untuk radiografi. Penggunaan kVp seperti mengurangi koefisien atenuasi jaringan lunak, menurunkan kontras, dan dengan demikian memungkinkan rentang yang lebih besar dari jaringan yang akan ditunjukkan. Contoh dari ini adalah visualisasi yang lebih besar dari dinding usus dengan kontras ganda pemeriksaan *barium enema*. Bila digunakan dengan CR, peningkatan tepi (peningkatan batas-batas jaringan yang berbeda) mengimbangi pengurangan kontras.

Berikut merupakan contoh pemeriksaan jaringan lunak pada payudara seperti pada Gambar 2.8, dimana payudara terdiri dari struktur jaringan lemak (*adipose tissue*) dan jaringan kelenjar getah susu

(*fibroglandular*) dan pemeriksaan pasien *struma* seperti Gambar 2.9 dan 2.10 (Fridawanti, 2012).



Gambar 2.8 Hasil radiograf jaringan lunak pada pemeriksaan payudara

(Sumber: Fridawanty, 2012)

Berikut merupakan contoh pemeriksaan radiografi jaringan lunak *struma*



Gambar 2.9 Pasien *struma*



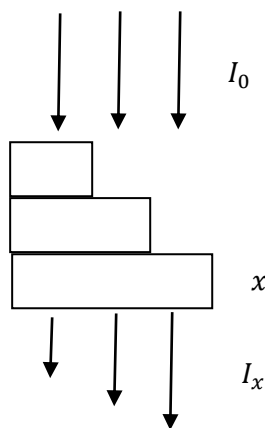
Gambar 2.10 Hasil radiograf jaringan lunak *struma*

(Sumber: Fridawanty, 2012)

2.5 Interaksi Sinar-X dengan Materi

Citra yang dihasilkan oleh sistem radiografi pada dasarnya adalah pemetaan dari berkas sinar-X yang diteruskan (I_x), berkas mula-mula yang datang (I_0), tebal objek (x), dan kepadatan tulang (μ) seperti ilustrasi Gambar 2.11. Oleh karena adanya kehilangan energi foton di dalam tebal x dari lapisan, maka terjadi pengurangan intensitas. Hubungan I_0 dan I_x adalah sebagai berikut (Rowlands, 2002):

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (8)$$



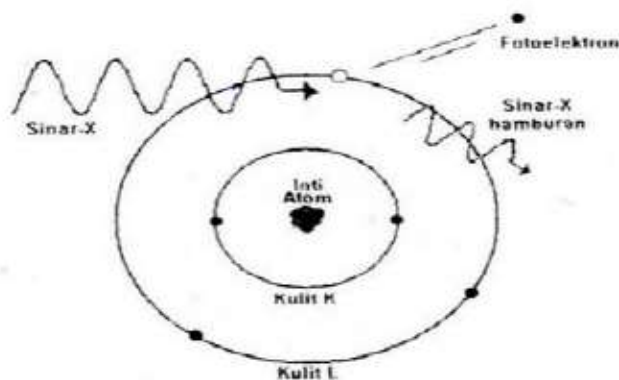
Gambar 2.11 Ilustrasi paparan sinar-X terhadap objek berbentuk stepwedge

Dalam rentang pencitraan diagnostik faktor yang mempengaruhi nilai koefisien atenuasi linier (μ) bergantung pada proses interaksi sinar-X dengan materi. Bushong (2001) memaparkan bahwa interaksi sinar-X dengan materi menyebabkan lima proses absorpsi radiasi yaitu hamburan koheren, efek Compton, efek fotolistrik, produksi pasangan, dan

fotodisintegrasi. Namun efek Compton dan efek fotolistrik yang sangat berhubungan dengan diagnostik radiografi.

2.5.1 Efek Compton

Menurut Bushong (2001) memaparkan bahwa efek Compton terjadi ketika interaksi sinar-X dengan elektron – elektron bebas atau elektron yang berikatan lemah pada lapisan kulit terluar. Hal ini menyebabkan elektron tereksitasi dan energi sinar-X akan diteruskan dengan arah yang berbeda seperti Gambar 2.12. Menurut Gabriel (1988) menyatakan bahwa efek Compton terjadi bila energi sinar-X berkisar 200 KeV-1000 KeV



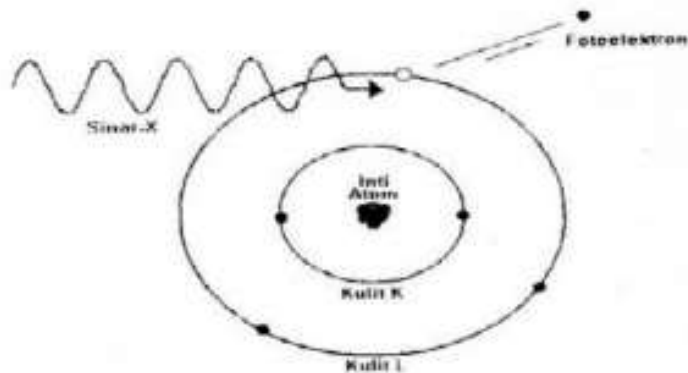
Gambar 2.12 Efek Compton

(Sumber: Gabriel, 1988)

2.5.2 Efek fotolistrik

Proses fotolistrik terjadi ketika adanya interaksi sinar-X dengan elektron kulit bagian dalam. Sinar-X tidak terhambur melainkan terserap seluruhnya seperti Gambar 2.13 (Bushong, 2001). Menurut Gabriel (1988: 283) menyatakan bahwa Elektron yang dilepaskan dalam proses ini disebut fotoelektron yang mempunyai energi sebesar energi sinar-X

yang mengenainya. Proses mengeluarkan elektron ini terjadi pada penyinaran dengan energi foton yang rendah berkisar 50 KeV



Gambar 2.13 Efek fotolistrik

(Sumber: Gabriel, 1988)

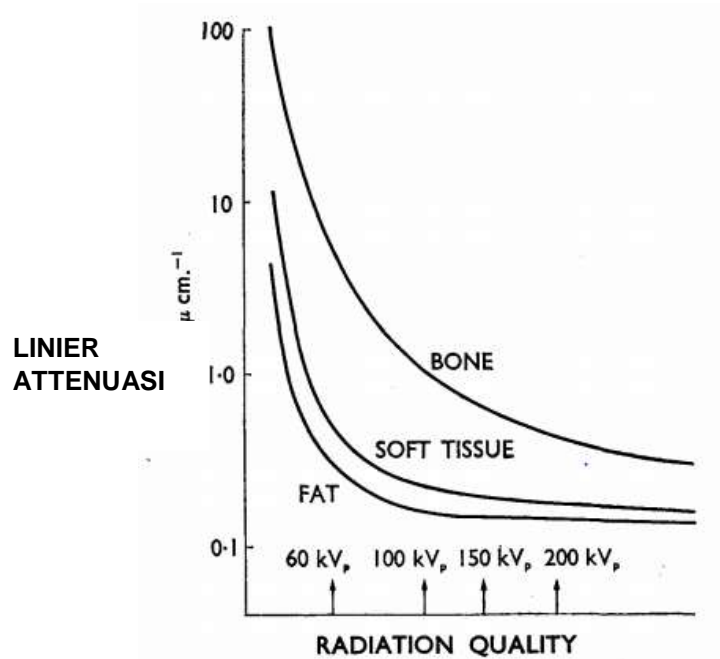
Tabel 2.1 Nomor atom efektif jaringan penting untuk diagnostik radiografi

(Sumber: Bushong, 2001)

Jaringan tubuh	Nomor atom efektif
Lemak	6,3
Otot	7,4
Jantung	7,4
Tulang	13,8

Pada Tabel 2.1 memaparkan nomor atom jaringan tubuh, nomor atom jaringan lunak perbedaannya sangat kecil satu sama lain. Jika jaringan lunak dibandingkan tulang selisihnya sangat besar. Seperti Gambar 2.14, pengaruh efek Compton terjadi pada energi tinggi maka nilai koefisien atenuasi linier (μ) menurun secara lambat seiring kenaikan energi sinar-X, sedangkan pada energi radiasi sinar-X rendah efek fotolistrik lebih dominan. Pada jaringan tulang dengan nomor atom-14

maka didominasi efek fotolistrik, sehingga koefisien attenuasi linier (μ) akan menurun dengan cepat seiring dengan kenaikan energi sinar-X. Kontras yang terlihat di radiograf sebanding dengan perbedaan nilai koefisien attenuasi linier (μ)



Gambar 2.14 Hubungan antara linier attenuasi dengan nilai tegangan (kV)

(Sumber: Meredith, 1977)

Untuk radiografi digital, ketika sinar-X melewati sebuah objek, maka sebagian radiasi yang ada akan diteruskan sehingga citra objek dapat direkam langsung berbentuk file citra. Faktor eksposi yaitu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-X yang diperlukan dalam pembuatan citra radiografi (Sartinah, 2008).

2.6 Resin

Kata polimer diturunkan dari kata Yunani “polys” (berarti banyak) dan “meros” (bagian atau unit). Menurut Budianto (2008), polimer merupakan makromolekul yang dibangun oleh unit-unit molekul sederhana yang tersusun secara berulang-ulang. Molekul sederhana penyusun polimer dinamakan monomer. Menurut Dwisatria (2012), berdasarkan jenis monomer penyusunnya, polimer diklasifikasikan menjadi dua yaitu homopolimer dan kopolimer. Homopolimer merupakan polimer yang tersusun dari monomer yang sejenis, misal –AAAAA-. Sedangkan kopolimer merupakan polimer yang terbentuk dari dua atau lebih monomer yang berbeda, misal –ABABAB-

Berdasarkan kriteria material rekayasa, polimer dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

1. Termoplastik

Polimer ini biasanya berupa material padatan pada temperatur ruang tetapi berubah menjadi cairan kental ketika dipanaskan pada temperatur beberapa ratus derajat saja. Dapat diberikan siklus pemanasan-pendinginan berulang kali tanpa degradasi berarti. Karakteristik ini menyebabkan termoplastik mudah dan ekonomis difabrikasi menjadi beragam bentuk. Contoh: Polyethylene (PE), polyvinylchloride (PVC), polypropylene (PP), polystyrene (PS), dan nylon

2. Termoset

Bahan polimer yang dapat menerima temperatur tinggi dan tidak berubah karena panas. Polimer ini tidak dapat menerima siklus pemanasan-pendinginan seperti siklus termoplastik. Contoh: phenolic, epoxie, poliester

3. Elastomer

Polimer ini berbentuk kenyal seperti karet, bersifat lentur dan dapat dideformasi beberapakali lebih panjang dan dapat dikembalikan kebentuk semula. Contoh elastomer yang banyak digunakan adalah poli (vinil klorida).

Resin eternal 2441PI merupakan resin polyester resin tak jenuh yang diproduksi oleh Eternal Synthetic Resin (Changsu) Co, Ltd. Menurut Fink (2005) resin polyester tak jenuh merupakan polyester yang terbentuk dari polimerisasi kondensasi yang bercampur monomer vinil (styrene) 60 %. Proses *curing* resin eternal 2441PI dengan radikal inisiator dan promotor. Promotor membantu dekomposisi inisiator ketika memberikan radikal bebas. promotor yang digunakan pada proses *curing* adalah cobalt n24/21. Cairan ini berwarna biru yang memiliki aroma menyengat. Cairan cobalt membantu inisiator melepas radikal bebas. Inisiator adalah suatu bahan kimia yang dapat meningkatkan laju suatu reaksi tanpa terjadi perubahan kimia. Penggunaan inisiator dapat menurunkan tingkat aktivasi energi yang dibutuhkan, membuat reaksi terjadi lebih cepat atau pada suhu yang lebih rendah. Fungsi katalis pada resin untuk membuat resin lebih cepat mengeras. Penambahan inisiator ini cukup sedikit saja tergantung

pada jenis resin yang digunakan. inisiator berbentuk cairan jernih dengan bau menyengat. Mepoxe merupakan inisiator yang mengandung beberapa persen methyl ethyl ketone peroxide untuk polimerisasi resin polyester tak jenuh. Mepoxe memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Kemasan: cairan bening

Phthalate plastilizer: $55 \pm 5\%$

Oksigen aktif: 9,5-10%

Berat jenis: 1,13 (pada temperatur 20%)

Titik nyala: min 50°C

Larut pada: ester, alcohol ketone, ether

2.7 Analisis dengan Matlab

Citra radiograf hasil radiografi digital dianalisis menggunakan perangkat lunak berbasis Matlab yang telah diprogram. Citra radiograf yang berjenis *.JPG diamati, kemudian mengambil sebagian (*crop*) bagian-bagian tertentu pada ROI (*region of interest*) *background*, ROI step 1-5. Hasil ROI yang dipilih dapat dibedakan secara kualitatif dari gelap sampai terang. Juga secara kuantitatif, ditunjukkan dengan nilai tingkat keabuan (*gray level*) dari 0-255 (susilo *et al*, 2009).

Transmisi sinar-X adalah fraksi antara intensitas mula-mula terhadap intensitas yang ditransmisi dari objek seperti pada persamaan (8). Dengan analisis berbasis Matlab, persamaan diubah dengan menggunakan GL sebagai berikut,

$$GL_x = GL_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (9)$$

untuk memperoleh hubungan transmitansi dengan ketebalan persamaan (9) dapat diubah sebagai berikut

$$\ln \frac{GL_0}{GL_x} = \mu x \dots\dots\dots (10)$$

dengan

GL_0 = nilai GL pada *background*

GL_x = nilai GL pada objek

μ = koefisien absorpsi bahan (cm^{-1})

x = ketebalan bahan (cm)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium jurusan Fisika dan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Proses pembuatan *stepwadge* berbahan resin akan dilakukan di Lab. Permesinan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang sedangkan eksposi sinar-X akan dilakukan di Lab. Medik yang terletak di lantai 3. Analisis hasil eksposi sinar-X dengan menggunakan *software* Matlab. Penelitian dilakukan pada periode Februari-April 2015.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan bahan meliputi resin bening Eternal 2441PI, katalis Mepoxe, Cobalt N24/21. Sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi cetakan yang terbuat dari lembaran alumunium, mesin *turrent milling*, sistem radiografi digital yang ada di laboratorium Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, dan komputer beserta *software* Matlab R2009a

3.3 Metode Penelitian

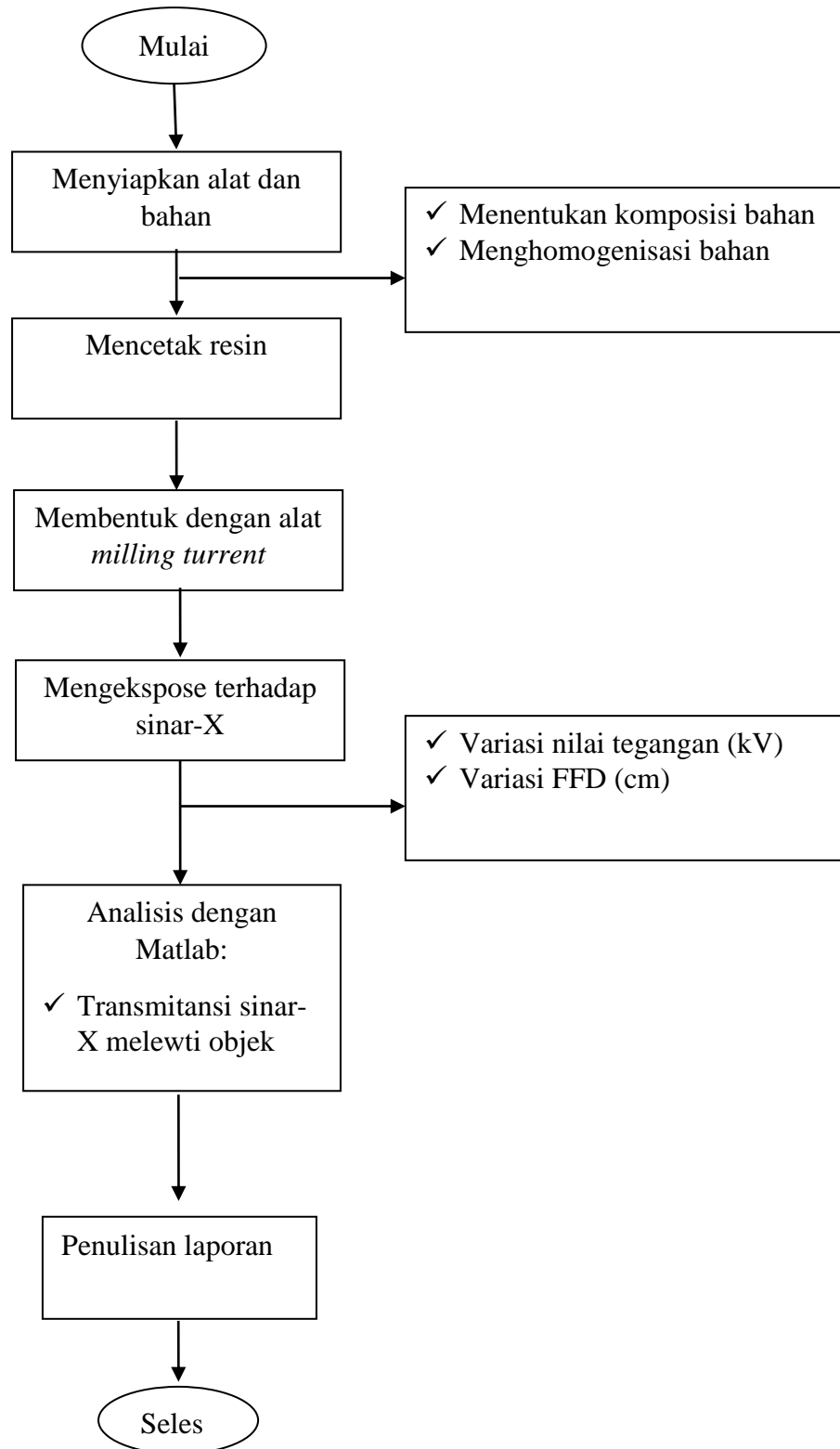
- 1) Metode penelitian yang dilakukan penulis dalam penelitian ini adalah metode eksperimen langsung dengan membuat objek *stepwedge* dan

melakukan eksposi terhadapnya untuk mengetahui faktor eksposi maksimal.

- 2) Objek penelitian ini adalah *stepwedge* berbahan dasar resin
- 3) Variabel penelitian
 - a. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai tegangan (kV) sinar X dan jarak pemotretan (FFD)
 - b. Variabel terikat penelitian ini adalah nilai transmisi dari citra radiografi.
 - c. Variabel kendali penelitian ini sebagai berikut
 - a. Menggunakan sistem radiografi digital Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
 - b. Menggunakan perangkat lunak berbasis Matlab untuk menghitung transmitansi sinar-X melewati objek

3.4 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian diperlukan sebagai bentuk langkah untuk mencapai tujuan dan target yang diinginkan dalam penelitian. Tahapan sebagai berikut



Gambar 3.1 Skema tahapan penelitian

3.4.1 Mencetak resin

Langkah pertama dalam pembuatan stepwedge berbahan resin adalah proses pencetakan, yang terdiri atas

- a. Pembuatan cetakan terbuat dari lembaran alumunium yang ditekuk membentuk kubus tanpa alas dan tutup seperti pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Cetakan resin

- b. Mencampur bahan seperti pada Gambar 3.3 yaitu 0,5 kg resin dengan 1 cc Cobalt, mengaduk hingga rata

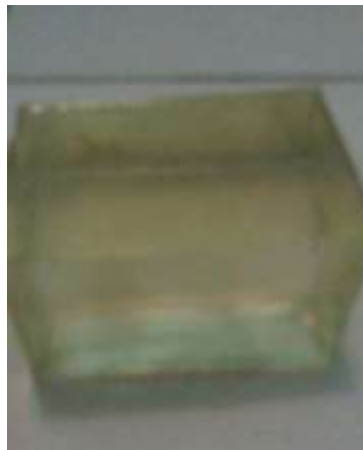


Gambar 3.3 Resin bening Eternal 2441PI, Cobalt n24/21 dan katalis Mepoxe

- c. Menambahkan 5 cc katalis agar cepat kering
- d. Mendinginkan resin hingga mengeras seperti Gambar 3.4.



- Gambar 3.4** Mencetak resin bening
- e. Mengeluarkan resin dari cetakan seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Resin yang dikeluarkan dari cetakan

3.4.2 Membentuk dengan alat *turrent milling*

Setelah mengeluarkan resin dari cetakan, membentuk *stepwedge* resin pada Gambar 3.6 dengan mesin *turrent milling* seperti Gambar 3.7 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Lebar : 1,5 cm
- Panjang : 5,2 cm
- Tinggi max: 7,5 cm
- Banyaknya step: 5
- Perbedaan tebal/step : 1,5 cm
- Perbedaan panjang /step: 1,5 cm



Gambar 3.6 *Stepwedge* berbahan resin



Gambar 3.7 Alat membentuk *stepwedge* resin

3.4.3 Ekspose terhadap sinar-X

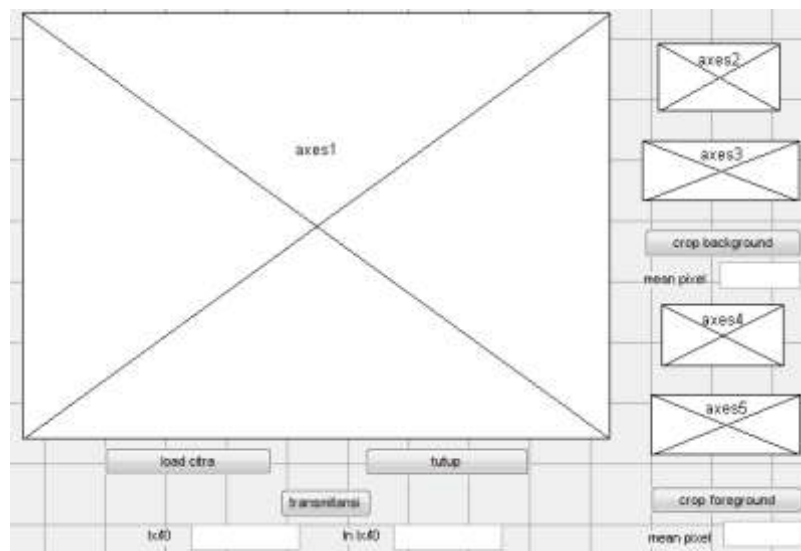
Setelah terbentuk *stepwedge*, maka *phantom* dieksposi dengan menggunakan sistem radiografi digital yang ada di Lab. Fisika Unnes seperti Gambar 3.8. Dengan nilai kuat arus 32 mA dan waktu 0.1 detik. Untuk mengetahui nilai tegangan (kV) dan focus to film distance (FFD) yang optimal, maka dilakukan variasi keduanya. Berdasarkan teori Whitley, pemilihan faktor eksposi dengan kVp kategori rendah dengan parameter tegangan pada pemeriksaan Teknik *Soft-Tissue* dipilih besarnya tegangan dengan variasi $\pm 15 \text{ kV}$ sampai $\pm 20 \text{ kV}$ yakni dengan variasi (45-50 kV) sedangkan variasi jarak pemotretan (FFD) dari jarak 80 sampai 100 cm



Gambar 3.8 Sistem radiografi digital pada Lab. Fisika Unnes

3.4.4 Analisis dengan Matlab

Hasil berupa citra digital yang selanjutnya dianalisis menggunakan *software* GUI pada matlab 2009. Tampilan *software* GUI sebagai berikut



Gambar 3.9 Tampilan GUI Matlab

Tampilan *software* pada gambar terdiri dari lima tombol perintah yaitu:

a) Tombol *load* citra

Tombol ini digunakan untuk menampilkan citra yang akan diuji pada *axes* 1

b) Tombol *crop background*

Tombol ini digunakan untuk memotong *background* yang akan ditampilkan pada *axes* 2 dan menampilkan histogram pada *axes* 3 serta menampilkan nilai *meanbackground*

c) Tombol *crop foreground*

Tombol ini digunakan untuk memotong *foreground* yang akan ditampilkan pada *axes* 4 dan menampilkan histogram pada *axes* 5 serta menampilkan nilai *mean foreground*

d) Tombol transmisi

Tombol ini digunakan untuk memperoleh nilai transmisi dari hasil *crop background* dan *foreground*

e) Tombol tutup

Tombol ini digunakan untuk menutup *software* GUI

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Resin polyester dapat digunakan sebagai bahan pengganti jaringan lunak karena resin polyester memiliki nomor atom yang menyamai jaringan lunak
2. Pada eksposi dengan kuat arus 32 mA dan waktu eksposi 0,1 s didapatkan nilai tegangan 45 kV dan FFD 100 cm adalah nilai optimal dibanding variasi lainnya untuk mendapatkan kualitas citra yang baik.
3. Hasil penelitian didapatkan hubungan antara ketebalan objek terhadap nilai $\ln \frac{GL_0}{GL_x}$ berbanding lurus. Semakin tebal objek semakin besar nilai $\ln \frac{GL_0}{GL_x}$, sehingga semakin besar densitas optik. Oleh karena itu, nilai $\ln \frac{GL_0}{GL_x}$ dapat menunjukkan nilai densitas optik.

5.2 Saran

Mengacu pada hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, penelitian ini selanjutnya disarankan sebaiknya menggunakan *magnetic stirrer* pada proses pengadukan agar homogen sempurna. Pengembangan penelitian dapat

diaplikasikan sebagai model bagian tubuh manusia sebagai pengganti dalam pembelajaran pada ekspose terhadap sinar-X.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuty, S.D. 2012. *Uji Karakterisasi Kualitas Radiasi Sinar X Sebagai Parameter Quality Control*. JFFMU Hasanuddin-222.124.222.229. <http://repository.unhas.ac.id/handle/123456789/2703>
- Beiser, A. 1987. *Konsep Fisika Modern (4th ed.)*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Bontrager, K.L.2010. *Radiographic Positioning and Related Anatomy*. ISBN: 978-0-323-05410-2
- Budianto, Emil & Ariyanti S. 2008. *Pengaruh Variasi Inisiator dan Teknik Polimerisasi Terhadap Ukuran Partikel pada Kopolimerisasi Emulsi Stirena-Butil Akrilat-Metil Metakrilat*. Makara, Sains, Volume 12, No 2, November 2008: 61-68
- Bushong, S.C.2001. *Radiologic Science for Technologists (7th ed.)*. U. S of America: A Harcourt Health Science Company
- Camber, H. & T. E. Jhonson. 2009. *Introduction to Physics Health (4th ed.)*. ISBN 978-0-07-164323-8
- Carroll, Q.B. 2011. *Radiography in the Digital Age Physics-Exposure-Radiation Biology*. ISBN 978-0-3
- Febriani, S.D.A.2013. *Optimasi Dosis Serap dan Kontras (Radiograf dengan Pemodelan Phantom Akrilik)*. Skripsi. Jember: FMIPA Universitas Jember
- Fink, J. Karl. 2005. *Reactive Polymers Fundamentals and Applications*. ISBN: 0-8155-1515-4 (William Andrew, Inc.)
- Fridawanty, A.2012. *Variasi Pemilihan Faktor Expose Terhadap Kontras pada Teknik Radiografi Jaringan Lunak*.Skripsi. Makasar: FMIPA Universitas Negeri Hasanuddin
- Gabriel, J.F. 1996. *Fisika Kedokteran*, Jakarta: buku kedokteran
- Lanca, Luis & Augusto Silva. 2008. *Digital Radiography Detectors-A Technical Overview: Part 1*. Elseiver, doi:10.1016/j.radi.2008.02.004

- Lu, Z.F, E.L. Nickoloff, J.C. So, & A.K Dutta. 2003. *Comparison of Computed Radiography and Film/Screen Combination Using a Contrast-detail Phantom*. Jurnal of applied clinical medical physic, volume 4, No 1
- Krane, K.S. 1992. *Fisika Modern*, terjemahan: Hans.J Wospakrik. Jakarta: penerbit UI Press
- McAndrew, Alasdair. 2004. *An Introduction to Digital Image Processing with Matlab*. School of computer science and mathematics. Victoria University of technology
- Meredith, W.J, Massay, J.B. 1977. *Fundamental Physics of Radiology (3th ed.)*. A john wright & sons ltd. Publication.
- Mulyana, H & Suryono. 2013. *Pembuatan Model Uji Nilai Tebal Paru (HVL) Pesawat Konvensional Sinar-X Menggunakan Pengolahan Citra Digital*. Youngster physics journal. ISSN: 2302-7371
- Pratiwi, Umi. 2006. *Aplikasi Analisis Citra Detail Phantom dengan Metode Konversi Data Digital ke Data Matrik untuk Meningkatkan Kontras Citra Menggunakan Film imaging Plate*. Skripsi. Solo: FMIPA Universitas Sebelas Maret
- Priyawati, D. 2011. *Teknik Pengolahan Citra Digital Berdomain Spasial untuk Peningkatan Citra Sinar-X*. KomuniTi, Vol. II, No. 2, Januari 2011
- Rowlands J. 2002. *The physics of computed radiography*. Phys Med Biol. 47: R123-66
- Savitri, R.E, Susilo, & Sunarno. 2014. *Optimasi Faktor Eksposi pada Sistem Radio Optimasi faktor Eksposi pada Sistem Radiografi Digital Menggunakan Analisis CNR (Contrast to Noise Ratio)*. Unnes Physics Journal. UPJ 3 (1) (2014)
- Seeley, R.R, Trent, D.S, P. Tate. 2000. *Anatomy & Physicology (6th ed)*. North America: Mc. Graw-Hill Companies
- Sugiharto, Aris. 2006. *Pemrograman GUI Dengan Matlab*. Yogyakarta: penerbit Andi

- Supri & Amir H. S. 2004. *Sintesis dan Karakterisasi Homopolimer Emulsi Poli (Metilmetaklirat) dengan Variasi Konsentrasi Surfaktan dan Zat Pengalih Rantai*. Jurusan Kimia. FMIPA Universitas Sumatra Utara.
- Susilo, W.S. Budi, & Kusminarto. 2011. *Analisis Homogenitas Bahan Acrylic dengan Teknik Radiografi sinar-X*. Jurnal Fisika Vol. 1 No.1, Mei 2011
- Susilo, Sunarno, E. Setiowati, & L. Lestari. 2012. *Aplikasi Alat Radiografi Digital Dalam Pengembangan Layanan Foto Rontgen*. Jurnal MIPA 35 (2): 145-150 (2012)
- Susilo, W.S. Budi, Kusminarto, & G. B. Suparta. 2013. *Kajian Radiografi Digital Tulang Tangan*. *Berkala Fisika*. ISSN: 1410 – 9662
- Susilo, S. B. Wahyu, & Kusminarto. 2013. *Aplikasi Perangkat Lunak Berbasis Matlab untuk Pengukuran Radiografi Digital*. JPMI (85-92). ISSN: 1693-1246
- Whitley, A.S & C. Sloane. 2005. *Clark's positioning in Radiography*. London: Hodder Headline Group.

ANALISIS DATA

1) Variasi nilai tegangan (kV)

Dengan kuat arus 32 mA, waktu 0.1 detik, dan FFD 80 cm

Data pengamatan

Ketebalan (cm)	45 kV				47.5 kV			
	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln
7.5	253.769	160.402	1.582081	0.458741	254	161.346	1.574257	0.453783
6	253.731	186.65	1.359395	0.307039	254	187.9	1.351783	0.301424
4.5	253.363	209.91	1.207008	0.188144	254	210.936	1.204157	0.185779
3	252.814	228.952	1.104223	0.099142	253.391	230.27	1.100408	0.095681
1.5	251.964	243.384	1.035253	0.034646	252.471	244.072	1.034412	0.033833

Ketebalan (cm)	50 kV			
	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln
7.5	254.982	163.43	1.560191	0.444808
6	255	190.878	1.335932	0.289629
4.5	255	213.705	1.193234	0.176667
3	254.706	232.861	1.093811	0.089668
1.5	253.964	246.619	1.029783	0.029348

2) Variasi FFD (cm)

Dengan nilai tegangan 45 kV, kuat arus 32 mA, waktu 0.1 detik

Data pengamatan

Ketebalan (cm)	80 cm				90 cm			
	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln
7.5	253.625	160.291	1.582278	0.458866	227.555	81.3766	2.79632	1.028304
6	253.519	186.574	1.358812	0.306611	225.74	104.023	2.170097	0.774772
4.5	253.216	209.438	1.209026	0.189815	223.493	132.652	1.684807	0.521651
3	252.871	228.943	1.104515	0.099406	220.478	162.673	1.355345	0.304056
1.5	251.81	242.863	1.03684	0.036177	216.468	191.1	1.132747	0.124646

Ketebalan (cm)	100 cm			
	GL_0	GL_x	GL_0/GL_x	ln
7.5	213.012	64.591	3.297859	1.193273
6	211.42	83.7101	2.525621	0.926487
4.5	209.036	109.376	1.911169	0.647715
3	206.248	137.818	1.496524	0.403145
1.5	201.854	168.084	1.200911	0.183081

SOURCE CODE MATLAB

```
function varargout = transmitansi(varargin)
% TRANSMITANSI M-file for transmitansi.fig
%   TRANSMITANSI, by itself, creates a new
TRANSMITANSI or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = TRANSMITANSI returns the handle to a new
TRANSMITANSI or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%
TRANSMITANSI('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%   function named CALLBACK in TRANSMITANSI.M with the
given input arguments.
%
%   TRANSMITANSI('Property','Value',...) creates a new
TRANSMITANSI or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left,
property value pairs are
%   applied to the GUI before transmitansi_OpeningFcn
gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes
property application
%   stop. All inputs are passed to
transmitansi_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose
"GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
transmitansi

% Last Modified by GUIDE v2.5 19-Sep-2015 02:09:55

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @transmitansi_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',   @transmitansi_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
```



```

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before transmitansi is made visible.
function transmitansi_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)
% varargin   command line arguments to transmitansi (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for transmitansi
handles.output = hObject;
set([handles.axes1,handles.axes2,handles.axes3,handles.ax
es4,handles.axes5],'XTick',[],'YTick',[],'box','on')
% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes transmitansi wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = transmitansi_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see
VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in loadcitra.
function loadcitra_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to loadcitra (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version

```

```

of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
[filename,path]=uigetfile('*.jpg','load image');
if isequal(filename,0)
    return
end
img=rgb2gray(imread(fullfile(path,filename)));
axes(handles.axes1)
imshow(img)
setappdata(handles.figure1,'img',img)

% --- Executes on button press in tutup.
function tutup_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to tutup (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
delete(handles.figure1)

% --- Executes on button press in bg.
function bg_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to bg (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect = getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('Position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
mb=mean2(imcb);
set(handles.meanbg,'string',mb)
%sdb = std2(imcb);
%set(handles.deviiasi,'string',sdb)
axes(handles.axes2)
imshow(imcb)
axes(handles.axes3)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)
setappdata(handles.figure1,'mb',mb)
%setappdata(handles.figure1,'sdb',sdb)

% --- Executes on button press in fg.
function fg_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to fg (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see

```

```

GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect = getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('Position',rect,'EdgeColor','b','LineWidth',1)
imcf=imcrop(img,rect);
mf=mean2(imcf);
set(handles.meanfg,'string',mf)
axes(handles.axes4)
imshow(imcf)
axes(handles.axes5)
imhist(imcf)
setappdata(handles.figure1,'imcf',imcf)
setappdata(handles.figure1,'mf',mf)

function meanfg_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to meanfg (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of meanfg
as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of meanfg as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function meanfg_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to meanfg (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%           See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in transmisi.
function transmisi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to transmisi (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

mb=getappdata(handles.figure1,'mb');
mf=getappdata(handles.figure1,'mf');
transmisi=mb/mf;
trans=log(transmisi);
set(handles.etrnsms,'string',transmisi)
set(handles.ln,'string',trans)

function etrnsms_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to etrnsms (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
etrnsms as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of etrnsms as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function etrnsms_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to etrnsms (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function deviasi_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to deviasi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of
deviasi as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of deviasi as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

```

```

function deviasi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to deviasi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function meanbg_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to meanbg (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of meanbg
as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of meanbg as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function meanbg_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to meanbg (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in clear.
function clear_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to clear (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see

```

```

GUIDATA)

function ln_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ln (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of ln as
text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of ln as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function ln_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ln (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function eDO_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to eDO (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all

```

```

properties.
function log_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to log (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to meanfg (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of meanfg
as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of meanfg as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit13_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to meanfg (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version
of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

