



**PENENTUAN MASSA JENIS AKRILIK MENGGUNAKAN
RADIOGRAFI DIGITAL DI LABORATORIUM FISIKA
MEDIK UNNES**

Skripsi

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains Program Studi Fisika

Oleh

Defi Rizqi Anggraeni

4211416031

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

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul “**Penentuan Massa Jenis Akrilik Menggunakan Radiografi Digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES**” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 29 Oktober 2020
Pembimbing



Prof. Dr. Susilo, M.S.
NIP. 195208011976031006

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat, dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 29 Oktober 2020



Deft Rizqi Anggraeni
4211416031

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Penentuan Massa Jenis Akrilik Menggunakan Radiografi Digital di
Laboratorium Fisika Medik UNNES

di susun oleh

Nama : Defi Rizqi Anggraeni


NIM : 4211416031

Telah dipertahankan dalam ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang pada 30 Oktober
2020.

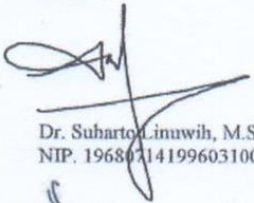
 Panitia:
Ketua

Dr. Sugianto, M.Si.
NIP. 196102191993031001

Penguji I


Dr. Masturi, M. Si.
NIP. 198103072006041002

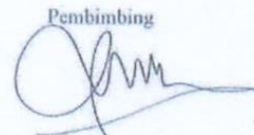
Sekretaris


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

Penguji ke II


Fifin Dewi Ratnasari, M. Sc.
NIP. 198212152006042002

Pembimbing


Prof. Dr. Susilo, M.S.
NIP. 195208011976031006

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Dunia ini ibarat bayangan. Kalau kau berusaha menangkapnya, ia akan lari. Tapi kalau kau membelakanginya, ia tak punya pilihan selain mengikutimu.

(Ibnu Qayyim Al Jauziyyah)

Allah akan meninggikan derajat orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan.

(Q.S Al-Mujadilah: 11)

PERSEMBAHAN

Orangtuaku tercinta

Bapak Sugito dan Ibu Sri Wahyuni.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat serta ridlo-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi berjudul **“Penentuan Massa Jenis Akrilik Menggunakan Radiografi Digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES”**. Ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan program Sarjana di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.

Penulis memahami tanpa bantuan, do'a dan bimbingan dari semua pihak akan sulit untuk menyelesaikan skripsi ini. Maka dari itu penulis ingin mengucapkan terimakasih atas dukungan dan kontribusinya kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum., selaku rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Sugianto, M. Si., selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Suharto Linuwih, M. Si., selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Dra. Pratiwi Dwijananti, M. Si., selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dalam menempuh studi.
5. Prof. Dr. Susilo, M. S., selaku dosen pembimbing yang telah memberi dukungan, masukan dan saran kepada penulis.
6. Dr. Masturi, M. Si., selaku dosen penguji I yang telah membimbing dan memberi koreksi dalam penyusunan skripsi ini.
7. Fifin Dewi Ratnasari, M. Sc., selaku penguji II yang telah membimbing dan memberi koreksi dalam penyusunan skripsi ini.
8. Kedua orang tua saya, ayahanda tercinta Sugito dan ibunda tercinta Sri Wahyuni serta kakak Wahyu Kornianto yang selalu mendoakan, dan memberikan dukungan moril serta materil.
9. Mas Alvin yang senantiasa memberi arahan, menemani dan membimbing selama kegiatan penelitian.
10. Mas Hendra yang membantu dalam pembuatan program penelitian.

11. Arterilik yang sudah membantu kelancaran dalam pembuatan sampel.
12. Teman seperbimbingan Fisika Medik UNNES 2016, Shania Astarina, Nirma Ugi, Latifatun Nikmah, Pira Purwaningsih, dan Khurroul Ain yang selalu memberikan semangat serta kerjasamanya dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. Marathur Rodhiyah dan Yuvita Kiki selaku teman diskusi.
14. Sahabatku Shania Astarina, Alif Nur dan Nisa Huda atas semangat, kebersamaan dalam suka duka dan selalu siap mendengarkan keluh kesah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi pembaca dan dapat dijadikan referensi untuk melakukan penelitian selanjutnya.

Semarang, 29 Oktober 2020


Penulis
Defi Rizqi Anggraeni

ABSTRAK

Anggraeni, Defi Rizqi. 2020. Penentuan Massa Jenis Akrilik Menggunakan Radiografi Digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Susilo, M. S.

Kata Kunci : Akrilik, Sinar-X, Massa jenis

Sinar-X merupakan teknologi pencitraan medis yang memiliki prinsip penembusan gelombang elektromagnetik dan mempunyai daya tembus yang tinggi pada suatu bahan yang dilaluinya. Sinar-X telah menjadi alat utama yang harus dimiliki oleh rumah sakit di Indonesia pada saat ini. Alat ini dapat menjadi rujukan dalam menentukan jenis penyakit oleh dokter melalui hasil citra yang dihasilkannya. Sistem radiografi terus mengalami perkembangan mulai dari sistem radiografi konvensional (RK) atau biasa disebut dengan radiografi analog menjadi sistem radiografi digital. Perbedaan diantara keduanya adalah pada unit detektor pendeteksi sinar-X yang digunakan pada masing-masing alat. Radiografi konvensional (analog) memanfaatkan film sebagai detektor sedangkan pada radiografi digital menggunakan detektor yang dapat menampilkan citra digital. Sinar-X juga dapat memberikan efek yang merugikan yaitu saat radiasi diberikan pada tubuh pasien maka kulit adalah penerima paparan yang paling besar dan jika terlalu sering tubuh menerima paparan tersebut maka jaringan tubuh dapat rusak. *Stepwedge* adalah salah satu cara yang dapat dilakukan pada uji kesesuaian penggunaan mesin sinar-X. *Stepwedge* tersebut sebagai phantom dan dipaparkan terhadap mesin sinar-X. Penelitian ini objek yang digunakan adalah *stepwedge* berbahan akrilik alat yang digunakan adalah *Mobile Radiadiagnostic type SF100BY*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas akan berkurang semakin tebalnya *stepwedge*. Hasil grafik pada tegangan yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV, dan 70 kV didapatkan nilai densitas akrilik secara berurutan yaitu 1,1704 g/cm³, 1,1702 g/cm³, 1,1699 g/cm³, 1,1696 g/cm³, 1,1692 g/cm³ dan 1,1626 g/cm³.

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	i
PERNYATAAN	ii
PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Kegunaan Penelitian.....	4
1.5 Batasan Istilah Pokok.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Radiasi	6
2.1.1 Radiasi Pengion.....	6
2.1.2 Radiasi Non-Pengion	7
2.2 Sinar-X	8
2.2.1 Proses Terjadinya Sinar-X	12
2.2.2 Interaksi dengan Materi.....	14
2.2.3 Radiografi Sinar-X	16
2.2.4 Koefisien Atenuasi	20
2.2.5 Efek Radiasi	25
2.3 Faktor Eksposi	25
2.3.1 Tegangan Tabung (kV)	25

2.3.2	Arus Tabung (mAs).....	25
2.3.3	Jarak (m).....	26
2.4	Akrilik	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		27
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	27
3.2	Alat dan Bahan	27
3.3	Prosedur Penelitian.....	27
3.3.1	Proses Penelitian	27
3.3.2	Alur Penelitian	28
3.3.3	Pembuatan <i>Stepwedge</i>	29
3.3.4	Pengambilan Data	29
3.3.5	Analisis menggunakan Python.....	30
3.3.6	Analisis menggunakan <i>Microsoft Excel</i>	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	<i>Stepwedge</i> Akrilik.....	33
4.2	Analisis menggunakan <i>Software Python</i>	34
4.2.1	Tegangan 45 kV	37
4.2.2	Tegangan 50 kV	38
4.2.3	Tegangan 55 kV	39
4.2.4	Tegangan 60 kV	40
4.2.5	Tegangan 65 kV	41
4.2.6	Tegangan 70 kV	42
4.3	Analisis Perhitungan secara Manual	44
BAB V PENUTUP.....		45
5.1	Simpulan.....	45
5.2	Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....		46
LAMPIRAN.....		52

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 45 kV.....	37
Tabel 4. 2 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 50 kV.....	38
Tabel 4. 3 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 55 kV.....	39
Tabel 4. 4 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 60 kV.....	40
Tabel 4. 5 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 65 kV.....	41
Tabel 4. 6 Intensitas <i>Stepwedge</i> Akrilik 70 kV.....	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rentang Spektrum Elektromagnetik	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi Gelombang Sinus dari Radiasi Elektromagnetik	8
Gambar 2. 3 Komponen Tabung Sinar-X	9
Gambar 2. 4 Sinar-X <i>Bremsstrahlung</i>	12
Gambar 2. 5 Sinar-X Karakteristik	13
Gambar 2. 6 Proses Efek Fotolistrik	14
Gambar 2. 7 Hamburan Compton	15
Gambar 2. 8 Proses Terjadinya Produksi Pasangan	16
Gambar 2. 9 Sistem Radiografi Konvensional	18
Gambar 2. 10 Radiografi Digital Modifikasi dari Sistem Radiografi Konvensional	18
Gambar 2. 11 Penyerapan dan Hamburan	20
Gambar 2. 12 Intensitas yang Menembus suatu Objek.....	21
Gambar 2. 13 Hubungan Antara Ketebalan dan Intensitas Sinar-X	22
Gambar 2. 14 Koefisien Atenuasi Massa untuk Beberapa Material dalam Rentang Energi Tertentu	23
Gambar 2. 15 Acuan Perbandingan Energi Foton (MeV), <i>Mass Attenuation Coefficient</i> (μ/ρ) dan <i>Mass Energy Absorpsi Coefficient</i> (μ_{en}/ρ) dari NIST.....	24
Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian	28
Gambar 3. 2 <i>Stepwedge</i> Akrilik	29
Gambar 3. 3 Tampilan GUI pada Python	30
Gambar 3. 4 Grafik Densitas Akrilik	32
Gambar 4. 1 Tampilan GUI pada Python.	35
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 45 kV.....	37
Gambar 4. 3 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 50 kV.....	38
Gambar 4. 4 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 55 kV.....	39
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 60 kV.....	40
Gambar 4. 6 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 65 kV.....	41
Gambar 4. 7 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 70 kV.....	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian.....	52
Lampiran 2 <i>Source Code Python</i>	54
Lampiran 3 Hasil atenuasi linier	63
Lampiran 4 SK pembimbing.....	66
Lampiran 5 SK penguji.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Semakin berkembangnya zaman semakin banyak pula bermunculan penyakit yang bermacam-macam pada manusia. Oleh karena itu, dilakukan berbagai cara untuk mengobati dan mendiagnosa berbagai penyakit, baik secara pengobatan tradisional ataupun modern. Para ilmuwan menemukan berbagai teknologi canggih pada bidang medis salah satunya adalah teknologi radiografi yang saat ini telah berkembang dan dinilai sangat efektif untuk mendiagnosa suatu penyakit.

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang berkisar antara 0,02-10 Å. Pesawat medis sinar-X mempunyai daya tembus yang tinggi pada suatu bahan yang dilaluinya. Sinar-X telah menjadi alat utama yang harus dimiliki oleh rumah sakit di Indonesia. Alat ini dapat menjadi rujukan dalam menentukan jenis penyakit oleh dokter melalui hasil citra yang dihasilkannya. Radiografi sinar-X adalah suatu teknik pencitraan yang memanfaatkan radiasi dengan daya tembus tinggi untuk menembus obyek. Teknik ini merupakan teknik yang tidak merusak sehingga banyak dimanfaatkan untuk uji tak rusak baik dalam industri ataupun dalam diagnostik kesehatan (Rudi et al., 2012; Wiguna et al., 2019).

Laboratorium Fisika Medik Universitas Negeri Semarang terdapat satu unit *Mobile X-ray* yaitu berupa tabung sinar-X, generator bertegangan tinggi beserta *control table*, mesin pencuci film yang hasil citranya dapat dilihat melalui *light box* setelah melalui beberapa tahap dalam pencucian film, alat ini biasa disebut radiografi konvensional (RK).

Sistem radiografi terus mengalami perkembangan mulai dari sistem radiografi konvensional atau biasa disebut dengan radiografi analog (RK) menjadi sistem radiografi digital. Perbedaan diantara keduanya adalah pada unit detektor pendeteksi sinar-X yang digunakan pada masing-masing alat (Susilo, Budi, et al., 2013). Radiografi konvensional (analog) memanfaatkan film sebagai detektor sedangkan pada radiografi digital menggunakan detektor yang dapat menampilkan

citra digital sehingga dapat disesuaikan seperti mengubah parameter misalnya kecerahan, kontras dan pembesaran.

Berdasarkan penelitian oleh Atika Rahmawati (2009) mengenai pengkajian koefisien atenuasi massa material dan hasilnya menunjukkan bahwa grafik koefisien atenuasi massa sebagai fungsi energi menunjukkan hubungan secara eksponential yang berbanding terbalik dengan energi hal ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya energi maka koefisien atenuasi massa semakin menurun.

Metode *Computed Radiography (CR)* yaitu proses merubah sistem analog yang terdapat pada radiologi konvensional menjadi radiografi digital. *CR* ini telah digunakan di rumah sakit besar di Indonesia namun untuk pengadaan alat ini tentu saja membutuhkan dana yang relatif besar ditambah untuk perawatan dan penyediaan sumber daya yang tersedia, sehingga dengan adanya kemajuan teknologi beberapa rumah sakit kini telah mengganti radiografi yang sifatnya konvensional menjadi teknologi digital (*filmless*) yang dianggap lebih efektif dan efisien (Susilo et al., 2012; Susilo, Budi, et al., 2013; Susilo, Sunarno, et al., 2013).

Dosis yang tidak sesuai dengan kebutuhan akan berdampak fatal terhadap tubuh, seperti kerusakan organ atau sel sehat lain bahkan bisa menyebabkan kehilangan nyawa pasien, sehingga penelitian untuk uji sinar-X dengan menggunakan *stepwedge* sebagai sampel perlu dilakukan agar dapat digunakan sebagai acuan densitas tulang. Alat yang digunakan untuk pengukuran densitas tulang adalah *Dual energy x-ray absorptiometry (DEXA)*. Alat ini tidak dimiliki oleh semua rumah sakit dan biaya pemeriksaannya juga cukup mahal. Maka, untuk mengatasi hal tersebut dapat menggunakan *stepwedge* yang dipapari sinar-X untuk mengetahui densitas sebuah tulang.

Sinar-X dalam penggunaannya juga dapat memberikan efek yang merugikan yaitu saat radiasi diberikan pada tubuh pasien maka kulit adalah penerima paparan yang paling besar dan jika terlalu sering tubuh menerima paparan tersebut maka jaringan tubuh dapat rusak. Oleh karena itu, untuk menggunakan sinar-X tersebut perlu memperhatikan beberapa aspek keselamatan kerja radiasi. Ruang rontgen ataupun fasilitas *imaging* pada suatu tempat harus memperhatikan proteksi radiasi

diantaranya dilengkapi oleh dinding khusus untuk memastikan bahwa dosis radiasi diluar ruangan tidak melebihi batas (Matori et al., 2014).

Objek *stepwedge* merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan pada uji kesesuaian penggunaan mesin sinar-X. *Stepwedge* tersebut sebagai phantom dan dipaparkan menggunakan mesin sinar-X. Penelitian dengan menggunakan *stepwedge* salah satunya menggunakan berbahan aluminium lokal dan brass. (Fidler et al., 2018). Salah satu kegunaan *Stepwedge* adalah untuk mengetahui perbedaan serapan tiap ketebalan. *Stepwedge* dalam berbagai jenis akhir-akhir ini sedang banyak digunakan salah satunya pada penelitian penentuan koefisien atenuasi linier yang dilakukan oleh dengan berbagai material *stepwedge* diantaranya plastic ABS, plexiglass PMMA, Silicone Rubber, Paraffin wax (Mousa et al., 2017). Penelitian ini menggunakan *stepwedge* berbahan dasar akrilik karena daya serap yang rendah, sehingga gambar yang dihasilkan pada citra radiografi akan terlihat jelas perbedaan antara *foreground* dan *background*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan di atas maka penelitian Tugas Akhir ini pokok-pokok permasalahannya adalah bagaimana mengetahui densitas *stepwedge* akrilik untuk phantom tulang sebagai uji tak rusak jika dipapari menggunakan sinar-X dan diaolah menggunakan aplikasi Python.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui densitas pada *stepwedge* berbahan dasar akrilik dengan menggunakan aplikasi Python
- Menentukan kV yang paling optimum untuk mengetahui densitas menggunakan mesin radiografi digital pada Laboratoium Fisika Medik UNNES.

1.4 Kegunaan Penelitian

Strategi hasil kegiatan penelitian penentuan densitas akrilik menggunakan radiografi digital di laboratorium Fisika Medik UNNES ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai densitas *stepwedge* yang berbahan dasar akrilik sehingga metode ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk uji tidak rusak baik dalam industri maupun dalam diagnostik kesehatan. Selain itu, sebagai informasi atau pengetahuan bagi pembaca serta penelitian ini dapat menjadi referensi serta acuan dalam penelitian selanjutnya.

1.5 Batasan Istilah Pokok

Permasalahan pada penelitian ini telah dipaparkan. Tetapi selain itu, perlu adanya batasan masalah agar lebih fokus. Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- Sampel yang digunakan yaitu *stepwedge* akrilik yang terdiri dari 11 step
- Tegangan yang digunakan antara katoda dan anoda tabung sinar-X yang digunakan mulai dari 45 kV sampai dengan 70 kV sesuai dengan mesin rontgen yang terdapat pada Laboratorium Fisika Medik UNNES
- Arus yang digunakan sebesar 16 mA
- Waktu eksposi sebesar 0,25 s
- Analisis yang digunakan adalah untuk mencari nilai densitas pada hasil citra radiografi digital menggunakan aplikasi Python.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam skripsi ini disusun dengan tujuan agar pokok-pokok masalah yang dibahas dapat urut, terarah dan jelas. Sistematika skripsi ini terdiri dari tiga bagian, yaitu : bagian awal, bagian isi dan bagian akhir. Bagian awal skripsi berisi halaman judul, halaman persetujuan pembimbing, halaman pernyataan, halaman pengesahan, halaman moto dan persembahan, kata pengantar, halaman abstrak, daftar isi, daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran. Bagian isi skripsi terdiri dari 5 (lima) bab yang meliputi :

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.

2. Bab 2 Landasan Teori

Bab ini terdiri dari kajian mengenai landasan teori yang mendasari permasalahan skripsi ini serta penjelasan yang pokok-pokok bahasan yang terkait dalam pelaksanaan penelitian.

3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan skripsi. Metode penelitian ini meliputi: metode pengumpulan data, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, dan prosedur penelitian.

4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian, semua hasil penelitian yang dilakukan dan pembahasan terhadap hasil penelitian.

5. Bab 5 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian. Bagian akhir skripsi berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran yang melengkapi uraian pada bagian isi skripsi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi

Perkembangan teknologi sejauh ini mengalami kemajuan yang pesat, termasuk perkembangan pada bidang kesehatan, salah satunya unit radiologi. Teknologi yang berkembang pada bidang radiologi saat ini telah berbasiskan komputerisasi, atau dikenal sebagai teknik radiografi digital. Radiasi menurut (Ancila & Hidayanto, 2016) perambatan energi yang dapat terjadi tanpa medium. Jika ditinjau dari muatan listrik radiasi sendiri terbagi menjadi dua yaitu radiasi pengion dan radiasi non pengion. Radiasi pengion merupakan radiasi yang dapat mengionisasi atom pada materi yang dilewati sedangkan radiasi non pengion adalah radiasi yang tidak dapat mengionisasi materi yang dilaluinya.

Secara umum radiasi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu radiasi elektromagnetik dan partikel dimana radiasi elektromagnetik diantaranya adalah gelombang radio, microwave, inframerah, sinar tampak, ultraviolet, sinar-X dan gamma. Sedangkan radiasi partikel yaitu alpha, beta dan neutron. Cara mengetahui radiasi diperlukan alat pendeteksi, karena radiasi sendiri tidak dapat dirasakan langsung oleh manusia namun mempunyai efek yang berbahaya bagi manusia (Fitriawan, 2014).

2.1.1 Radiasi Pengion

Radiasi pengion yaitu radiasi yang dapat menimbulkan ionisasi terhadap suatu bahan yang dilaluinya karena penyerapan tenaga radiasi. Banyaknya jumlah ionisasi tergantung pada banyaknya jumlah radiasi yang diserap oleh suatu bahan tersebut dan menyebabkan terbentuknya ion positif. Hal ini menyebabkan terganggunya sistem biologi, dan dapat menyebabkan mutasi dan kanker. Radiasi pengion tidak dapat dideteksi ataupun dilihat dengan kasat mata, untuk mengetahui keberadaannya dapat menggunakan pencacah Geiger. Radiasi pengion dapat digunakan dalam berbagai bidang seperti kedokteran, nuklir dan penelitian. Tetapi, radiasi ini juga dapat menimbulkan kerusakan pada jaringan ataupun sel, kanker, luka bakar bahkan kematian. Adapun termasuk radiasi

pengion adalah sinar-X, partikel alfa (α), partikel beta (β), sinar gamma (γ), dan partikel neutron (Wijaya et al., 2019).

2.1.2 Radiasi Non-Pengion

Radiasi non pengion adalah radiasi yang mempunyai energi rendah dimana tidak dapat mengeluarkan partikel dari atom tetapi hanya dapat memindahkan elektron dari tingkat yang rendah ke tingkat yang lebih tinggi. Gelombang elektromagnetik secara umum kecepatan gelombang memenuhi persamaan berikut,

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

c = kecepatan cahaya/ kecepatan gelombang elektromagnetik 3×10^8 m/s

λ = panjang gelombang (m)

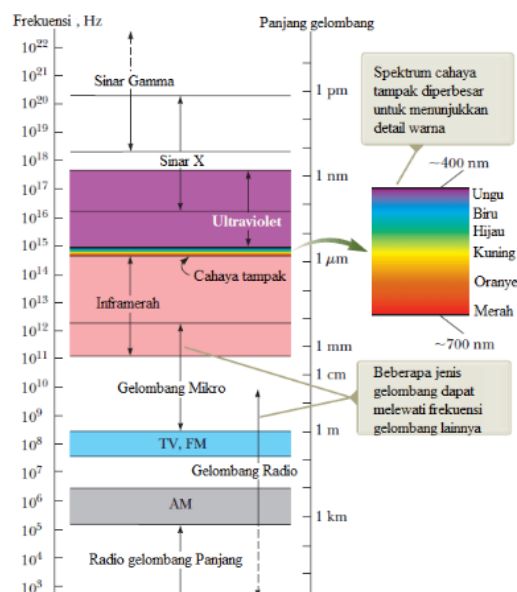
f = frekuensi (Hz)

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.2)$$

Dapat ditulis

$$f \approx \frac{1}{\lambda} \quad (2.3)$$

Adapun yang termasuk radiasi non-pengion adalah gelombang radio, gelombang mikro, cahaya tampak, dan ultraviolet.

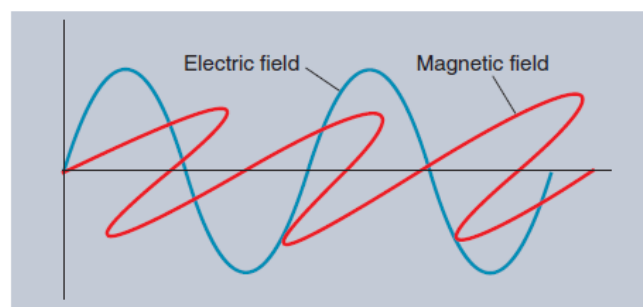


Gambar 2. 1 Rentang Spektrum Elektromagnetik (Nuraeni et al., 2005)

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa frekuensi berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Hal tersebut juga sesuai dengan persamaan matematis 2.3 diatas bahwa semakin besar frekuensi maka panjang gelombangnya akan semakin pendek. Begitu juga sebaliknya apabila nilai frekuensi semakin kecil maka nilai panjang gelombangnya akan semakin besar. Gambar 2.1 spektrum elektromagnetik dari frekuensi yang rendah menuju frekuensi yang tinggi yaitu gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, ultraviolet, sinar-X, dan sinar gamma.

2.2 Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh fisikawan asal Jerman Wilhelm Conrad Röntgen tepatnya pada 8 November 1895. Sinar-X dan sinar gamma merupakan radiasi elektromagnetik perbedaannya sinar-X bersumber dari interaksi elektron di luar inti sedangkan sinar gamma dilepaskan dari inti atom yang tidak stabil dan memiliki kelebihan energi.

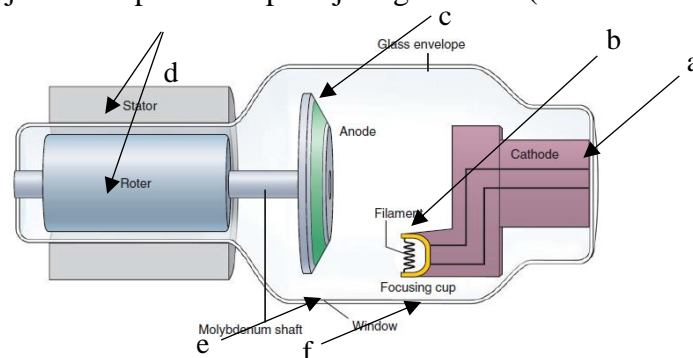


Gambar 2. 2 Ilustrasi Gelombang Sinus dari Radiasi Elektromagnetik (Fosbinder & Orth, 2012)

Menurut teori Maxwell, gelombang elektromagnetik adalah perambatan dari medan listrik (E) dan medan magnet (B) yang bergerak bersamaan berisolasi dalam bidang orthogonal dan membentuk gelombang sinus seperti yang tampak pada Gambar 2.2. Adapun sifat gelombang elektromagnetik antara lain: tidak membutuhkan media rambat, tergolong pada gelombang transversal dan mempunyai sifat yang sama, mempunyai momentum, tidak membawa massa akan tetapi membawa energi, dan energi yang dibawa sebanding dengan besar frekuensi gelombang.

Penyebarannya sinar-X adalah suatu garis yang berasal dari sumbernya dan menyebar ke segala arah. Oleh karena itu, tabung pada sinar-X dilapisi dengan sebuah tabung yang terbuat dari logam bertujuan untuk menghentikan sebagian besar sinar-X, hanya sinar-X yang berguna saja yang dibiarkan untuk menyebar atau keluar melalui sebuah jendela sinar-X (Pauwels et al., 2015).

Citra radiografi yang dihasilkan oleh sistem pada dasarnya terjadi perbedaan penyerapan sinar-X pada bagian tulang dan jaringan lainnya dalam pemetaan dari berkas sinar-X yang diteruskan. Tulang akan menyerap sinar-X lebih banyak sehingga sinar yang diterima akan lebih sedikit maka warna yang tampak pada film akan menjadi lebih putih dari pada jaringan lunak (Melhem et al., 2016).



Gambar 2. 3 Komponen Tabung Sinar-X (Fosbinder & Orth, 2012)

Panjang gelombang dari sinar-X yang pendek menyebabkan sinar-X memiliki sifat dapat menembus sebuah benda. Gambar 2.3 terlihat beberapa komponen pada mesin sinar-X. Gambar (a) adalah katoda yang berfungsi sebagai tempat produksi elektron. Filamen terdapat pada ujung katoda terbuat dari logam yang memiliki titik leleh yang tinggi dan bermuatan negatif. Ketika filamen dipanaskan elektron-elektron akan berakumulasi di atasnya proses ini dinamakan emisi termionik. Laju produksi elektron bergantung pada besar arus. Semakin besar arus semakin banyak elektron yang dihasilkan. Adapun beda potensial dengan tegangan tinggi yang berfungsi mempercepat elektron, tegangan ini terdapat diantara katoda dan anoda. Gambar yang ditunjuk (b) dinamakan *focussing cup* terdapat pada katoda berfungsi sebagai alat untuk mengarahkan elektron secara konvergen ke target agar elektron tidak terpancar kemana-mana. Gambar (c) dinamakan anoda atau biasa disebut target. Ketika elektron datang dari katoda menuju anoda elektron akan mengalami perlambatan. Anoda ini berfungsi

mengubah energi kinetik ke energi foton sinar-X

$$E_{k \text{ elektron}} = E_{\text{sinar-X}} + E_{\text{panas}} \quad (2.4)$$

$$eV = h\nu + Q \quad (2.5)$$

$$eV = h\frac{c}{\lambda} + Q \quad (2.6)$$

Persamaan 2.4 diatas dapat kita ketahui bahwa energi kinetik yang terdapat pada elektron akan diuraikan menjadi 99% panas dan 1% sinar-X. Material anoda bermacam-macam jenisnya diantaranya yang banyak digunakan adalah tungsten dan molybdenum. Material yang berbeda akan menghasilkan spektrum sinar-X yang berbeda pula. Gambar (d) adalah *rotor* dan *stator* yang terdapat pada bagian anoda yang berfungsi sebagai alat untuk memutar anoda. Gambar (e) *Window* atau jendela adalah tempat keluarnya sinar-X, *window* ini terletak dibagian bawah tabung. Tabung bagian bawah dibuat lebih tipis dari tabung bagian atas, dikarenakan agar sinar-X dapat keluar melalui *window* tersebut tanpa mempengaruhi komponen-komponen lain. *Glass metal envelope (vacum tube)* adalah tabung yang bertujuan untuk membungkus komponen-komponen penghasil sinar-X agar menjadi vacum atau menjadikan ruang hampa udara yang digunakan untuk menghilangkan gangguan elektron dari pengaruh luar contohnya udara bagian ini ditunjukkan oleh Gambar (f). Karena molekul yang terdapat pada udara dapat mengganggu jalannya elektron dalam menumbuk anoda. Komponen-komponen yang terdapat diudara diantaranya: Nitrogen (N₂), Oxygen (O₂), Argon (Ar), air (H₂O), Carbon dioksida (CO₂), Neon (Ne), Helium (He), dan Methana (CH₄). Massa molekul diudara lebih besar dari massa elektron, sehingga apabila tabung tidak divacumkan elektron dari katoda akan terhambur jauh dari anoda (target). Oleh karena itu, tabung divacumkan agar elektron tidak terhalang dan tepat menuju target (Fosbinder & Orth, 2012; Ozcete et al., 2015)

Sinar-X bergerak lurus sama dengan kecepatan cahaya dapat dibelokkan ketika menembus benda logam atau padat yang mempunyai frekuensi gelombang yang tinggi. Ada beberapa sifat fisik dari sinar-X diantaranya adalah:

a) Daya tembus

Sinar-X mempunyai sifat untuk menembus benda padat seperti tulang.

$$\lambda = \frac{hc}{eV-Q} \quad (2.7)$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \quad (2.8)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.9)$$

$$E = hf \quad (2.10)$$

dengan:

E = besarnya energi (Joule)

h = konstanta Plank ($6,627 \times 10^{-34}$ Js)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = panjang gelombang (m)

Persamaan diatas menyatakan semakin tinggi tegangan (kV) yang digunakan maka semakin besar energi radiasi yang ditimbulkan semakin besar pula daya tembusnya namun, berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya. Densitas benda maka semakin besar pula daya tembusnya begitupun sebaliknya (Fakhrurreza & Majidah, 2018).

b) Hamburan

Hamburan terjadi pada saat berkas sinar menumbuk suatu bahan maka sinar tersebut akan menuju kesegala arah, hal ini menyebabkan gambar radiografi pada film atau hasil citra akan tampak tingkat keabuan yang berbeda sesuai tingkat atenuasi objek.

c) Penyerapan

Sinar-X memiliki sifat menyerap dalam radiografi diserap oleh bahan atau zat yang sesuai dengan nomor atom dan densitas suatu bahan atau zat. Makin tinggi densitas dan semakin besar nomor atomnya maka makin besar pula penyerapannya.

d) Efek fotografik

Efek fotografi sinar-X contohnya adalah pada radiografi konvensional. Efek ini dapat menghitamkan emulsi film (emulsi perak-bromida) setelah diproses secara kimiawi, untuk membangkitkan gambar pada film di kamar gelap.

e) Fluoresensi

Fluoresensi yaitu memancarkan cahaya apabila ada radiasi sinar-X. Ini terjadi pada bahan-bahan tertentu seperti kalsium tungsten atau zink.

f) Ionisasi

Sinar-X yang mengenai suatu bahan dapat menimbulkan ionisasi pada partikel-partikel bahan atau zat itu sendiri.

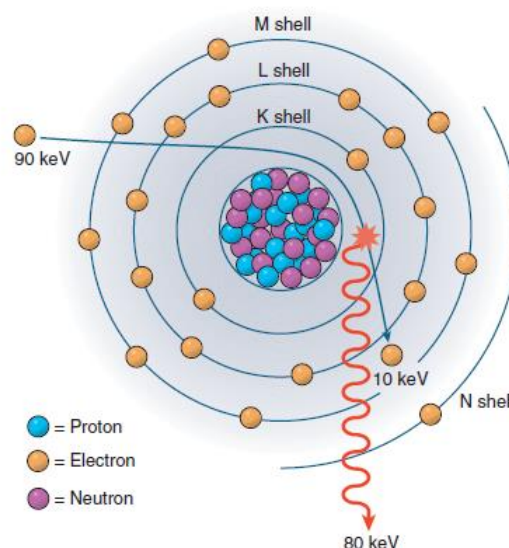
g) Efek biologi

Sifat sinar-X terhadap efek biologi akan menimbulkan perubahan secara biologi pada jaringan (Adnyana, 2014).

2.2.1 Proses Terjadinya Sinar-X

Berdasarkan proses terjadinya sinar-X dibagi menjadi 2 yaitu

a) Sinar-X Bremsstrahlung

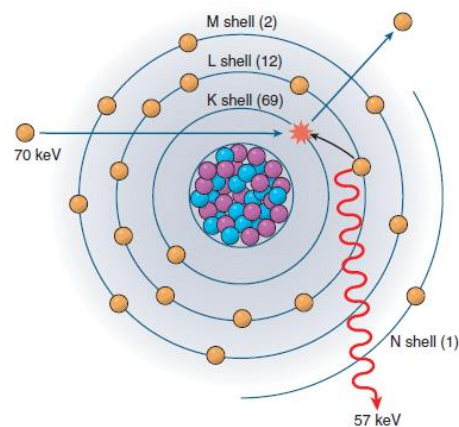


Gambar 2. 4 Sinar-X *Bremsstrahlung* (Fosbinder & Orth, 2012)

Bremsstrahlung berasal dari bahasa jerman yang artinya mengerem atau memperlambat. *Bremsstrahlung* sendiri dapat diartikan sebagai radiasi yang

dihasilkan ketika elektron diperlambat atau mengalami pengereman saat menumbuk anoda. Gambar 2.4 adalah ilustrasi terjadinya sinar-X *Bremsstrahlung*, ketika elektron bermuatan negatif akan tertarik pada inti atom yang bermuatan positif maka elektron harus mempunyai energi yang kuat untuk menembus kulit atom. Saat mendekati inti terdapat medan nuklir yang sangat kuat yang membuat elektron itu melambat atau mengalami pengereman sehingga membuat elektron merubah arah. Peristiwa ini menyebabkan elektron kehilangan energinya dengan cara memancarkan radiasi elektromagnetik yang dinamakan sinar-X *Bremsstrahlung*.

b) Sinar-X Karakteristik



Gambar 2. 5 Sinar-X Karakteristik (Fosbinder & Orth, 2012)

Sinar-X karakteristik ini terjadi pada anoda ketika elektron pada orbital mengisi kekosongan. Untuk melepaskan elektron dari kulit atom tertentu elektron proyektil harus mempunyai energi kinetik yang cukup tinggi seperti Gambar 2.5 sehingga ketika suatu elektron terlepas dari kulit atom maka akan terjadi transisi dari orbit luar ke orbit yang lebih dalam. Energi yang dikeluarkan pada saat transisi elektron ini disebut sinar-X karakteristik.

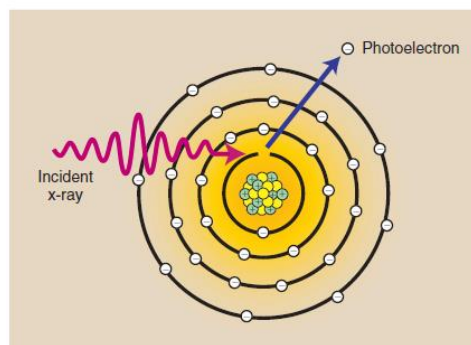
2.2.2 Interaksi dengan Materi

Interaksi sinar-X dengan materi akan terjadi apabila sinar-X yang dipancarkan dari tabung mengenai sebuah objek, pada saat sinar-X mengenai objek maka akan terjadi interaksi antar foton dengan atom yang terdapat pada objek. Interaksi ini menyebabkan foton kehilangan energi yang dimilikinya. Besar energi yang diserap tiap satuan massa dinyatakan sebagai satuan dosis serap (Gray)

$$1 \text{ Gray} = 1 \text{ joule/kg}$$

Artinya 1 joule energi radiasi yang diserap dalam 1 kg jaringan tubuh manusia. Adanya interaksi radiasi dengan materi akan menyebabkan terjadinya beberapa proses antara lain: efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan.

a) Efek Fotolistrik



Gambar 2. 6 Proses Efek Fotolistrik (Bushong, 2001)

Gambar 2.6 menjelaskan tentang proses efek fotolistrik yaitu suatu energi foton diserap oleh atom (elektron) sehingga elektron terlepas dari ikatannya. Efek fotolistrik ini terjadi pada radiasi energi rendah dan dengan nomor atom yang besar. Apabila foton mengenai elektron pada suatu orbit didalam atom sebagian energi foton (Q) digunakan untuk mengeluarkan elektron dari atom dan sisanya dibawa oleh elektron sebagai energi kinetik. Jadi seluruh energi foton dipakai dalam proses tersebut (Bushong, 2001)

$$E = Q + E_k \quad (2.11)$$

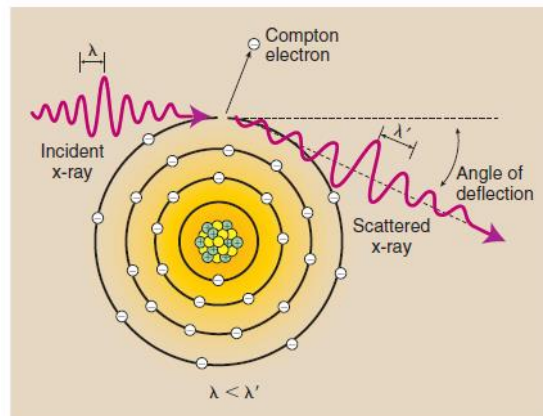
E = energi (joule)

Q = energi ikat elektron

E_k = energi kinetik

Berdasarkan persamaan 2.11 besar total energi foton adalah hasil dari penjumlahan energi ikat elektron dan energi kinetik. Elektron yang terlepas dari lintasannya disebut *photoelektron*. Proses efek fotolistrik akan terjadi jika foton yang mempunyai energi rendah menembus sebuah materi. Apabila besar energi yang dimiliki oleh foton tersebut kurang dari energi ikat elektron, maka elektron pada materi tidak akan terlepas dari ikatannya. Tetapi, apabila besar energi yang dimiliki oleh foton lebih besar dari energi ikat elektron, elektron akan berpindah ke kulit yang lebih luar dan memancarkan sinar karakteristik (Fosbinder & Orth, 2012)

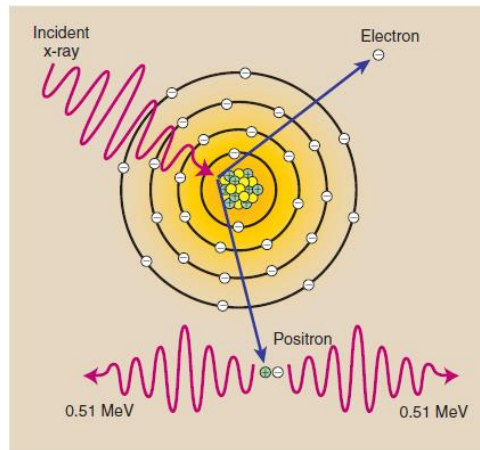
b) Hamburan Compton



Gambar 2. 7 Hamburan Compton (Bushong, 2001)

Efek Compton seperti terlihat pada Gambar 2.7 banyak terjadi untuk tenaga foton berkisar 200 keV – 5 MeV. Foton hanya memberikan sebagian energinya pada saat terjadi tumbukan. Elektron ini akan berkelakuan seperti elektron bebas karena energi ikatnya jauh lebih kecil daripada energi foton yang menumbuknya (Khairani et al., 2007). Faktor yang mempengaruhi efek Compton adalah nomor atom, jika semakin tinggi nomor atom maka kemampuan materi untuk menghasilkan hamburan akan semakin besar. Selain nomor atom energi pada foton juga mempengaruhi efek Compton jika energi pada foton tinggi maka kemungkinan akan terjadi hamburan berantai sehingga memungkinkan terjadinya efek Compton ini akan meningkat.

c) Produksi Pasangan



Gambar 2. 8 Proses Terjadinya Produksi Pasangan (Bushong, 2001)

Gambar 2.8 merupakan proses produksi pasangan, foton yang bertenaga cukup tinggi melalui medan listrik yang sangat kuat bergerak dekat dengan sebuah inti, setelah itu foton akan menghilang secara spontan dan energinya akan muncul kembali sebagai suatu positron dan elektron. Proses ini juga akan disertai hilangnya kedua partikel gabungan dan akan berubah menjadi sepasang foton kembali yang disebut *radiasi anihilasi*. Jumlah energi kedua foton pasangan tersebut sama dengan jumlah energi foton yang mula-mula melakukan interaksi dengan atom (Khairani et al., 2007).

2.2.3 Radiografi Sinar-X

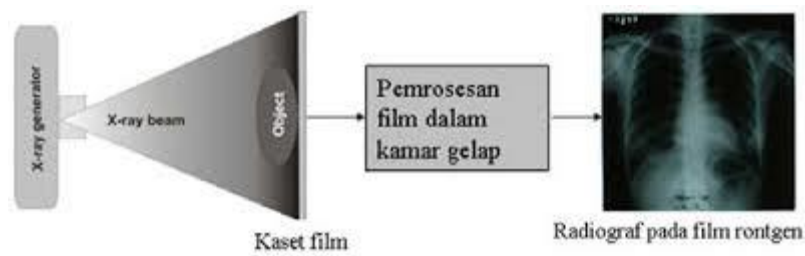
Radiografi sinar-X adalah alat yang berkembang didunia medis sebagai pendiagnosa suatu penyakit menggunakan hasil citra radiografi suatu obyek yang telah diradiasi dengan sinar-X. Radiasi yang dilewatkan pada suatu obyek sebagian ada yang diteruskan, dan sebagian lagi ada yang diserap sehingga nantinya akan terbentuk suatu citra objek tersebut. Keluaran dari sistem generator sinar-X yang dipengaruhi oleh arus, waktu ekspos, besarnya tegangan dan jarak target. Satuan yang biasa digunakan untuk penyinaran radiografi adalah Rontgen, disingkat R. Satu Rontgen mempunyai energy rata-rata antara 0,1 MeV – 3,0 MeV yang mampu menghasilkan dosis serap sebesar 0,96 rad, dapat dikatakan 1R sama dengan 1 rad.

a) Radiografi Digital

Radiografi merupakan teknologi pencitraan medis pertama yang ditemukan oleh seorang fisikawan bernama Wilhelm Conrad Roentgen pada 8 November 1895. Temuan rontgen itu adalah hasil penelitian tabung katoda yang dibungkus menggunakan kertas hitam agar tidak terjadi kebocoran dari dalam tabung. Setelah itu, ia membuat ruangan penelitian menjadi gelap. Ketika katoda dibangkitkan, terlihat fotoluminesensi yang diletakkan di atas meja berpendar sehingga radiasi ini dinamakan sinar-X. Sinar-X ini, merupakan revolusi diagnosis pengobatan penyakit dan juga mendapat anugerah hadiah *Nobel* pertama untuk fisika pada tahun 1901. Setelah penemuannya itu, pencitraan menggunakan sinar-X menjadi salah satu tes diagnosis terpenting dan dinilai efektif yang digunakan secara luas pada manusia dan hewan (Bushberg et al., 2012; Rudi et al., 2012).

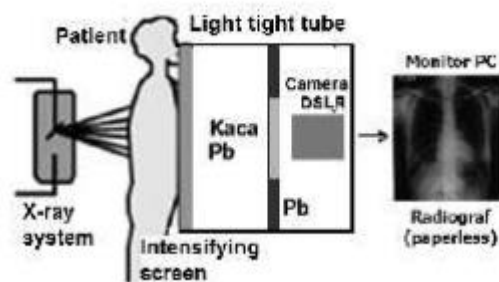
Sistem radiografi terus mengalami perkembangan dari sistem radiografi konvensional (analog) menjadi sistem radiografi digital. Perbedaan keduanya terdapat pada unit detektor pendeteksi sinar-X yang digunakan (Ningtias et al., 2016). Radiografi konvensional memanfaatkan film sebagai unit pendeteksi, sedangkan radiografi digital memanfaatkan detektor yang dapat menghasilkan citra digital. Ketika citra radiografi digital hendak ditampilkan, pengguna dapat menyesuaikan tampilan hasil citra digital dengan cara mengubah parameter seperti kecerahan, kontras, dan pembesaran (Sari & Fransiska, 2018).

Radiografi konvensional adalah radiografi yang dalam penggunaannya berbasis film. Dengan beberapa proses pencucian setelah dilakukannya eksposi untuk menampilkan gambar atau citra pada film. Pada Gambar 2.9 menunjukkan suatu proses dari sistem radiografi konvensional sehingga membentuk suatu citra. Untuk mendapatkan kualitas dan kuantitas hasil gambar radiografi yang baik diperlukan eksposi yang tepat. Faktor eksposi meliputi tegangan tabung (kV), arus tabung (mA), dan waktu ekspos (s) (Fosbinder & Orth, 2012).



Gambar 2. 9 Sistem Radiografi Konvensional (Susilo, Sunarno, et al., 2013)

Radiografi digital adalah pengolahan data yang bersifat analog menjadi data yang bersifat digital. Radiografi digital diperkenalkan lebih dari 20 tahun yang lalu. Kelebihan teknologi ini adalah kemampuan untuk mengarsipkan gambar-gambar yang ada sehingga mudah dibagikan, dan program pengolahan menggunakan komputer yang memungkinkan manipulasi beberapa radiografi properti seperti kontras, kecerahan, dan ketajaman. Sejak diperkenalkan, penggunaan radiografi digital telah meningkat karena teknologinya yang canggih dan dinilai lebih efisien. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa radiografi digital tingkat keakuratannya sama dengan radiografi konvensional dalam mendeteksi dan tidak menemukan perbedaan yang signifikan antara berbagai sistem. Gambar digital secara signifikan lebih baik dalam mendeteksi (Tewary et al., 2011).



Gambar 2. 10 Radiografi Digital Modifikasi dari Sistem Radiografi Konvensional (Susilo, 2016)

Radiografi digital merupakan penangkapan gambar dengan cara merekam citra digital yang hasilnya dapat ditampilkan pada layar komputer bahkan bisa dicetak untuk dilakukan analisis (Ratnasari, 2018). Radiografi digital dalam medis adalah salah satu modalitas yang di gunakan untuk mendiagnosa suatu penyakit. Namun terkadang petugas kurang memperhatikan Quality Control sehingga didapatkan kurang maksimalnya citra yang diperoleh, yang nantinya dapat berdampak pada kesalahan diagnosa. Oleh karena itu, dikembangkanlah penelitian mengenai kualitas citra yang sesuai dengan sistem digital (Ningtias et al., 2016). Keuntungan radiografi digital adalah peningkatan efisiensi dosis, dan jangkauan pada detektor digital yang lebih besar dengan kemungkinan untuk pengurangan paparan radiasi pada pasien (Susila et al., 2012).

Gambar 2.10 adalah hasil modifikasi radiografi konvensional menjadi radiografi digital yang ada di Laboratorium Fisika Medik UNNES. Radiografi ini berbasis *intensifying screen* yang akan mengubah sinar-X menjadi sinar tampak selanjutnya citra akan ditangkap oleh kamera DSLR sehingga dapat di tampilkan di layar PC (Susilo et al., 2014).

Proteksi radiasi merupakan salah satu aspek yang dinilai sangat penting untuk mengatasi efek yang merugikan ini. Oleh karena itu, setiap instalasi radiologi harus disertai dengan proteksi radiasi. Proteksi radiasi ini diperlukan untuk menyerap radiasi sehingga dapat mengurangi intensitas radiasi dan mengurangi dosis yang diterima oleh tubuh manusia (Ancila & Hidayanto, 2016; Fosbinder & Orth, 2012)

Radiografi digital ini memanfaatkan sinar-X yang tidak terserap oleh benda akan menumbuk *intensifying screen* sehingga akan terjadi perpendaran yang akan di potret oleh kamera digital sehingga dapat ditampilkan secara visual pada monitor.

b) Kualitas Radiografi

Kualitas gambar pada citra radiografi medis sangatlah beragam dan kompleks. Hal ini sangat penting untuk mengetahui anatomi dan kondisi guna mendiagnosa sesuatu. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan diantaranya kontras, densitas, ketajaman dan *noise* yang turut andil dalam

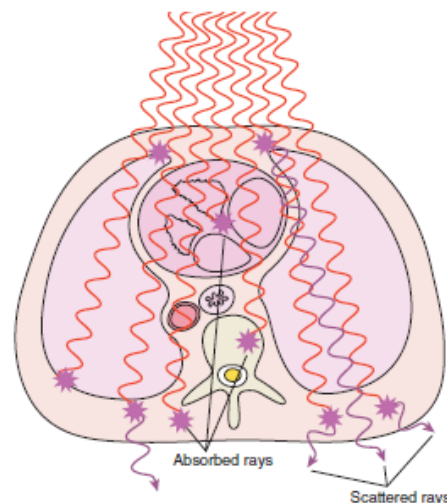
menentukan kualitas citra radiografi. Kontras adalah tingkat perbedaan densitas antara kedua area. Densitas pada radiografi yaitu tingkat gradasi kehitaman yang bergantung pada jumlah paparan radiasi. Ketajaman yaitu kemampuan sinar-X untuk memproduksi garis batas yang jelas. Noise adalah gangguan pada citra radiografi. Penilaian kualitas ataupun mutu radiografi ini sangat penting dipenuhi agar pendiagnosa atau pembacaan citra dapat dilakukan dengan tepat dan minimalisir kesalahan. Terdapat 8 hal yang harus dipenuhi agar hasil radiografi yang didapatkan memiliki kualitas yang baik di antaranya adalah kelengkapan, kontras, detail, ketajaman, densitas, resolusi, kecerahan, dan distorsi (Ramadhan et al., 2019)

2.2.4 Koefisien Atenuasi

Atenuasi adalah berkurangnya energi foton baik karena penyerapan setelah melalui materi.

a) Koefisien Atenuasi Linier

Koefisien atenuasi linier yaitu pelemahan foton terhadap radiasi pada ketebalan suatu materi.



Gambar 2. 11 Penyerapan dan Hamburan (Fosbinder & Orth, 2012)

Ketika foton pada sinar-X berinteraksi dengan jaringan akan kehilangan seluruh foton hal ini dinamakan penyerapan dan ada pula yang hanya kehilangan sebagian foton yang disebut hamburan foton seperti Gambar 2.11.

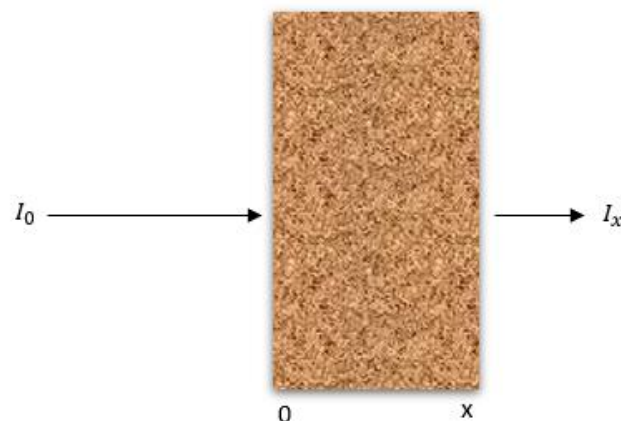
Atenuasi dipengaruhi beberapa hal diantaranya:

- Energi foton pada sinar-X
- Ketebalan jaringan
- Densitas jaringan
- Nomor atom

Faktor ini akan mempengaruhi hasil akhir citra radiografi (Fosbinder, 2012).

Menurut (Muharini & Rosita, 2017) koefisien atenuasi linier akan meningkat seiring bertambahnya nomor atom dan densitas bahan. Karena semakin besar nomor atom dan densitas bahan maka semakin besar densitas elektronnya maka interaksi antara foton dengan materi akan semakin besar sehingga jumlah foton yang lolos akan semakin kecil.

Sinar-X memiliki sifat salah satunya adalah dapat menembus bahan yang nantinya akan mengalami atenuasi (pelemahan) pada suatu bahan yang dilaluinya. Oleh karena itu, intensitas setelah melewati bahan akan lebih kecil dibandingkan intensitas mula-mula. Atenuasi sinar-X pada sebuah bahan tergantung pada nomor atom, densitas, ketebalan dan kekerasan bahan itu sendiri (Muharini & Rosita, 2017). Koefisien atenuasi linear (μ) adalah pelemahan yang bergantung pada jenis radiasi dan energi dari radiasi elektromagnetik yang diserap oleh materi (Fitler et al., 2018).



Gambar 2. 12 Intensitas yang Menembus suatu Objek

Gambar 2.12 menjelaskan bahwa ketika sinar-X mengenai suatu bahan, maka sinar-X akan berinteraksi dengan bahan tersebut. Proses interaksi ini menyebabkan hilangnya sebagian intensitas sinar-X. Besarnya intensitas radiasi terusan menurun secara eksponensial terhadap ketebalan bahan. Sinar-X dengan intensitas awal I_0 akan berkurang menjadi I_x setelah menembus bahan setebal x . Intensitasnya akan berubah sesuai persamaan Lambert-Beer

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.12)$$

dimana :

I_x = Intensitas radiasi setelah melalui bahan

I_0 = Intensitas radiasi sebelum melalui bahan

x = ketebalan perisai (m)

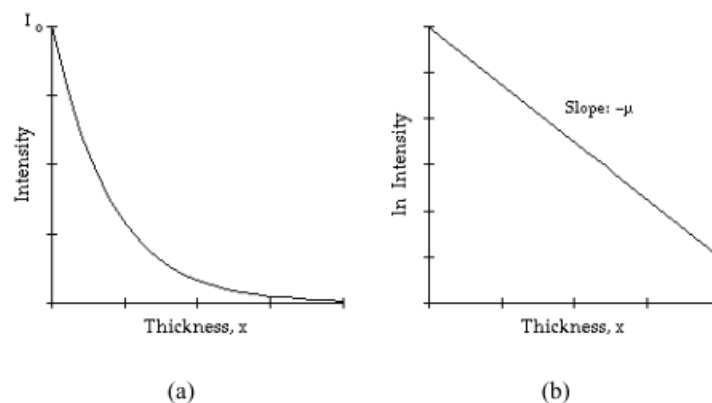
μ = koefisien atenuasi linier

Koefisien atenuasi (μ) merupakan pengurangan intensitas radiasi setelah melalui bahan per satuan panjang (Muharini & Rosita, 2017), dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{I_x}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2.13)$$

$$\ln \frac{I_x}{I_0} = -\mu x \quad (2.14)$$

$$\ln \frac{I_0}{I_x} = \mu x \quad (2.15)$$

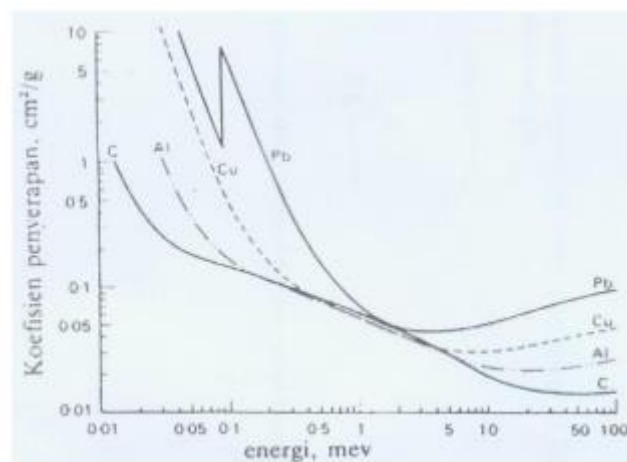


Gambar 2. 13 Hubungan Antara Ketebalan dan Intensitas Sinar-X (Fitler, 2018)

Gambar 2.13 menjelaskan bahwa intensitas radiasi berkurang seiring dengan tebal bahan atau material yang dapat dinyatakan dalam μ .

b) Koefisien Atenuasi Massa

Koefisien atenuasi massa (μ_m) yaitu angka serapan terhadap radiasi pada kerapatan suatu materi. Apabila radiasi sinar-X menembus suatu materi akan terjadi interaksi dengan materi tersebut sehingga menyebabkan pengurangan energi. Koefisien atenuasi massa adalah proses pengurangan energi foton dalam materi dengan tebal 1 cm. Koefisien atenuasi massa akan semakin tinggi apabila nomor atom pada material atau objek semakin besar. Begitupula dengan besar energi, semakin besar energi foton semakin besar pula nilai atenuasi massa (Fitler, 2018). Sehingga atenuasi linier akan berpengaruh pada atenuasi massa, semakin besar nilai atenuasi linier maka semakin besar pula nilai atenuasi massanya begitupun sebaliknya.



Gambar 2. 14 Koefisien Atenuasi Massa untuk Beberapa Material dalam Rentang Energi Tertentu (Fitler, 2018)

Gambar 2.14 menunjukkan nilai koefisien atenuasi massa akan semakin tinggi sesuai dengan nomor atom pada setiap material yang semakin besar. Densitas pada citra radiografi dapat dilihat dari tingkat kehitaman yang terlihat pada hasil citra setelah dilakukannya penyinaran. Satuan koefisien atenuasi massa adalah cm^2/g .

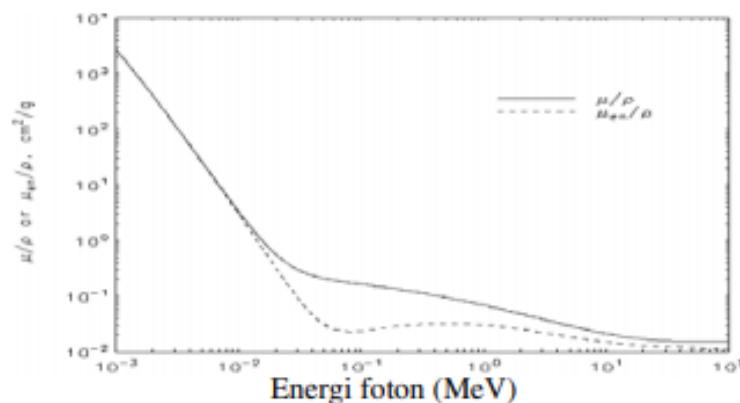
Koefisien atenuasi massa dapat dihitung secara tidak langsung dapat melalui persamaan

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 \quad (2.16)$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \frac{\mu_1}{\rho_1} x_1 \rho_1 + \frac{\mu_2}{\rho_2} x_2 \rho_2 \quad (2.17)$$

$$\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right) = \mu_m x_1 \rho_1 + \mu_m x_2 \rho_2 \quad (2.18)$$

Persamaan diatas adalah contoh persamaan yang digunakan pada dua material menunjukkan atenuasi massa (μ_m) = $\frac{\mu}{\rho}$ dengan μ adalah atenuasi linier dan ρ adalah densitas material. Densitas secara pengamatan visual dari hasil citra radiografi digital dapat digunakan sebagai uji tak rusak dan merupakan salah satu karakteristik yang penting untuk mengetahui kepadatan. Selain itu, juga dapat menjadi acuan kualitas materialnya (Listiaji & Suparta, 2020).



Gambar 2. 15 Acuan Perbandingan Energi Foton (MeV), *Mass Attenuation Coefficient* (μ/ρ) dan *Mass Energy Absorpsi Coefficient* (μ_{en}/ρ) dari NIST.

Gambar 2.15 adalah grafik publikasi NIST tentang nilai ketetapan energi foton yang mempengaruhi koefisien atenuasi massa yang ditunjukkan dengan garis hitam sedangkan untuk garis putus-putus menunjukkan *Mass Energy Absorpsi Coefficient* (Widyanti et al., 2013). Gambar grafik tersebut bahwa μ_m bergantung pada energi foton dan juga densitas material yang dilalui (Sumarni & Mart, 2000).

2.2.5 Efek Radiasi

Tumbukan foton dan atom terjadi pada saat radiasi sinar-X menembus suatu bahan yang nantinya akan menimbulkan ionisasi karena sinar-X merupakan salah satu radiasi pengion, hal ini yang akan menyebabkan efek radiasi terhadap tubuh. Adapun beberapa efek radiasi seperti efek secara fisiologis yaitu berakibat pada gangguan tubuh manusia.

2.3 Faktor Eksposi

Faktor eksposi dapat mempengaruhi kualitas dan kualitas citra yang dihasilkan oleh penyinaran. Penentuan kualitas dan kuantitas bergantung pada tegangan tabung (kV), arus persekon (mAs), dan jarak (m).

2.3.1 Tegangan Tabung (kV)

Tegangan tabung pada pesawat sinar-X dengan satuan (kV) adalah perbedaan potensial antara kutub anoda dan kutub katoda pada sinar-X.

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(kVp_1)^2}{(kVp_2)^2} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 menunjukkan semakin besar tegangan yang digunakan dalam penyinaran maka akan semakin besar pula daya tembusnya. Karena tegangan tabung ini berhubungan dengan daya tembus atau kualitas ketika menumbuk suatu bidang target. Sehingga nilai tegangan tabung ini juga mempengaruhi kontras citra yang dihasilkan semakin tinggi tegangan yang digunakan maka nilai kontras nya akan semakin rendah (Bushong, 2001; Sari & Fransiska, 2018)

2.3.2 Arus Tabung (mAs)

Arus tabung dengan satuannya adalah milliampere (mA). Sedangkan waktu eksposi (s) adalah lamanya berkas sinar-X yang dipaparkan pada pasien atau materi. Arus tabung mempengaruhi kuantitas sinar-X, sehingga untuk dalam setiap penyinaran bagian tubuh yang berbeda maka berbeda pula besar arus dan waktunya. Arus tabung biasanya dipilih yang paling tinggi agar waktu eksposi yang digunakan lebih singkat dan mencegah kekaburan dalam gambar yang dihasilkan (Carroll, 2011; Sari & Fransiska, 2018).

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{mAs_1}{mAs_2} \quad (2.20)$$

Jumlah elektron per satuan waktu akan mempengaruhi intensitas seperti yang terlihat pada persamaan 2.20 menunjukkan bahwa arus tabung dan lamanya penyinaran sebanding dengan intensitas sinar-X. Intensitas sinar-X akan semakin besar apabila mAs semakin tinggi begitu pula sebaliknya (Bushong, 2001).

2.3.3 Jarak (m)

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{(FFD_2)^2}{(FFD_1)^2} \quad (2.21)$$

Persamaan 2.21 menunjukkan bahwa intensitas sinar-X berbanding terbalik dengan kudrat jarak. Semakin jauh jarak maka paparan radiasi juga akan berkurang *Focus Film Distance* (FFD) adalah jarak dari sumber sinar (fokus) ke detektor (Bushong, 2001; Rahma, 2016).

2.4 Akrilik

Akrilik atau Polymethyl-methacrylate (PMMA) dengan rumus kimianya $(C_5H_8O_2)_n$. Akrilik merupakan plastik yang bentuknya hampir mirip dengan kaca tetapi akrilik mempunyai sifat yang berbeda dengan kaca salah satu contohnya adalah kelenturan pada akrilik yang tidak mudah pecah, ringan serta mudah dipotong dibandingkan dengan kaca. Akrilik merupakan material yang ideal untuk dipergunakan pada aplikasi berbagai bidang. Selain itu, tahan terhadap cuaca dan tidak mengkerut atau berubah warna meskipun terkena paparan sinar matahari dalam jangka waktu yang lama. Akrilik dihasilkan melalui proses polimerasi emulsi, polimerasi larutan serta polimerasi bulk. Temperatur glass transisi berkisar 85-165 °C. Material ini juga sering digunakan sebagai bahan pengganti gelas seperti Plexiglas, Perspex atau Lucite (Susilo et al., 2011)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengumpulan data dengan melakukan eksposi sinar-X dilakukan di Laboratorium Fisika Medik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Semarang (UNNES). Pemotongan dalam proses pembuatan *stepwedge* berbahan dasar akrilik dilakukan di Artcrilik jl. Lamongan Raya 33 (Sampangan) Semarang. Sedangkan Analisa data menggunakan *software* Python. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni-September 2020

3.2 Alat dan Bahan

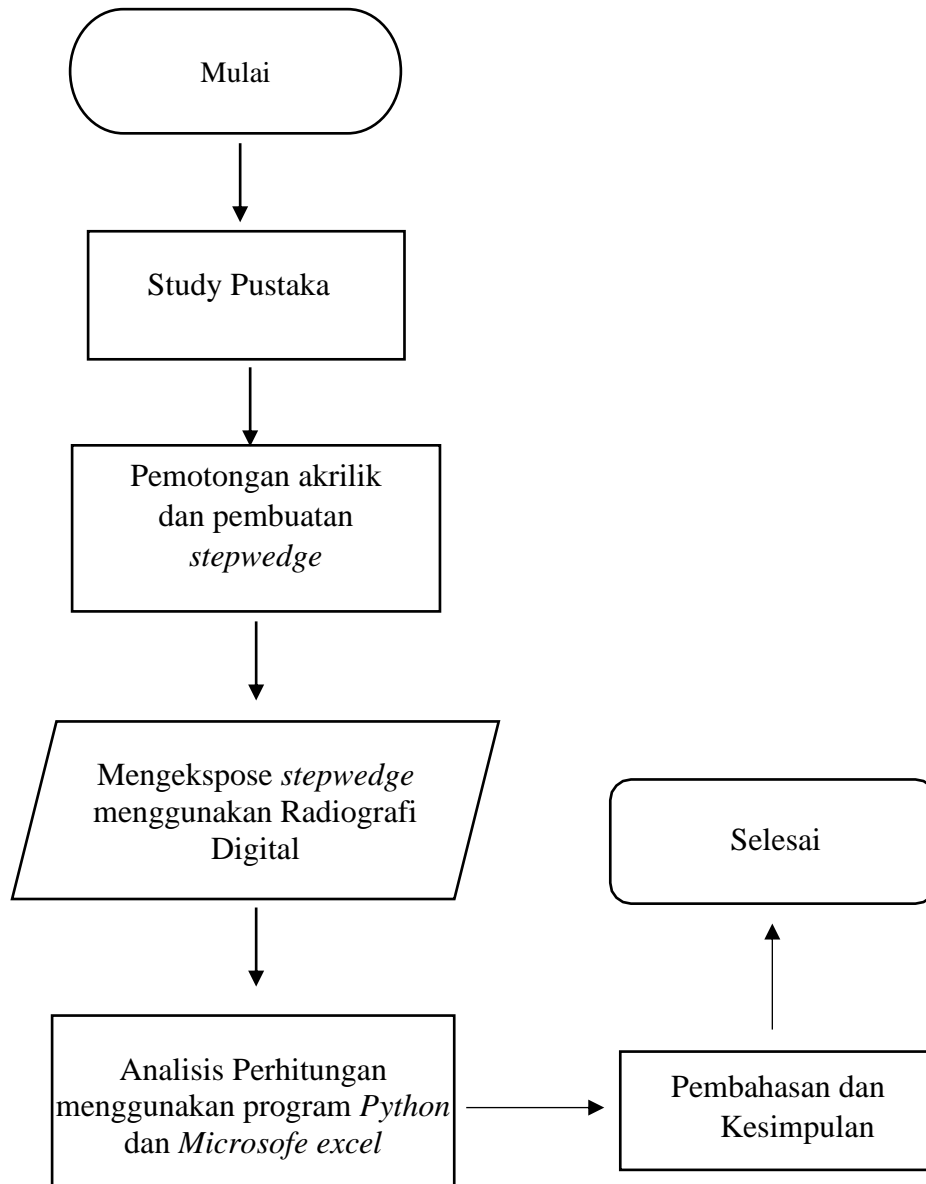
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran akrilik. Sedangkan alat-alat yang digunakan berupa *Mobile Radiadiagnostic type SF100BY*, timbangan digital, gelas ukur, mistar, laptop merk *Asus A407M* dan *software* Python yang digunakan untuk mengolah data.

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Proses Penelitian

1. Objek pada penelitian ini adalah *stepwedge* akrilik
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen sekali *exspose* pada *stepwedge* akrilik untuk mendapatkan hasil citra radiografi digital untuk mengetahui densitas akrilik tersebut.
3. Variabel Penelitian
 - a) Variabel bebas dalam penelitian ini adalah nilai tegangan (kV).
 - b) Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai densitas berdasarkan citra radiografi yang diperoleh.
 - c) Variable control dalam penelitian ini adalah nilai arus (mA), waktu (s) dan jarak (m) pada sinar-X.
 - d) Variabel kendali penelitian ini adalah sistem radiografi digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES dan Python untuk pengolahan data.

3.3.2 Alur Penelitian

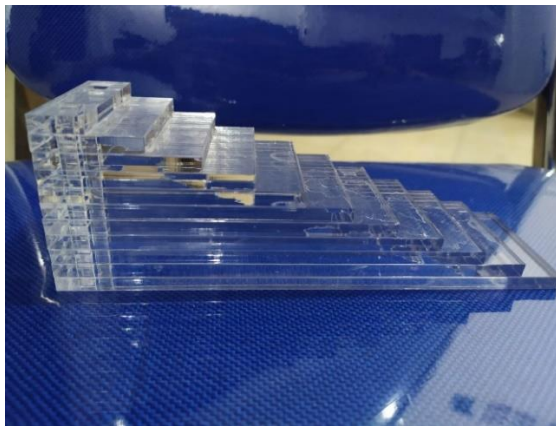


Gambar 3. 1 Skema Tahapan Penelitian

3.3.3 Pembuatan *Stepwedge*

Pembuatan *stepwedge* yang terbuat dari bahan akrilik dilakukan pemotongan. Sehingga *stepwedge* pada penelitian ini memiliki spesifikasi sebagaimana terlihat pada Gambar 3.2 dengan spesifikasi:

- ❖ Banyaknya step = 11 step
- ❖ ketebalan tiap step = 0.5 cm
- ❖ lebar = 5 cm
- ❖ Panjang = 16.5 cm
- ❖ tinggi = 5.5 cm.



Gambar 3. 2 *Stepwedge* Akrilik

3.3.4 Pengambilan Data

Pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium Fisika Medik UNNES pada bulan Agustus 2020. Tahap pertama dilakukan pengambilan data pada *phantom stepwedge* akrilik yang diekspos menggunakan radiografi digital. Proses pengambilan data menggunakan generator sinar-X dengan tegangan yang divariasikan yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV dan 70 kV, arus sebesar 16 mA, jarak 80 cm dan waktu 0,25 s.

Hasil yang diperoleh berupa citra digital akan dilanjutkan pengolahan menggunakan *software* Python 3.8. Pengukuran nilai intensitas dari bahan diukur dengan mengukur nilai I_0 atau intensitas sebelum melewati bahan dan I_x atau intensitas yang telah melewati bahan dengan cara membuat area pada masing-masing undak pada citra radiografi yang diperoleh. Setelah itu di tampilkan pada program Python yang telah dibuat.

3.3.5 Analisis menggunakan Python

Analisis menggunakan Python dilakukan setelah mendapat gambar citra radiografi digital sehingga ditampilkan gambar asli dan *crop* gambar untuk mengetahui besar I_0 dan I_x . Gambar ditampilkan pada *software* GUI pada Python 3.8.



Gambar 3. 3 Tampilan GUI pada Python

Adapun tampilan GUI tampak pada Gambar 3.3 terdiri dari beberapa komponen atau tombol diantaranya adalah:

1. Open Citra

Open citra ini digunakan untuk menampilkan gambar yang akan diuji atau citra asli hasil dari ekspos radiografi digital

2. Crop I_0

Crop I_0 digunakan untuk menampilkan citra yang di potong pada daerah yang tidak melewati bahan dan menampilkan nilai I_0 .

3. Crop I_x

Crop I_x digunakan untuk menampilkan citra yang di potong pada daerah yang telah melewati bahan dan menampilkan nilai I_x .

3.3.6 Analisis menggunakan *Microsoft Excel*

Analisis sebelumnya yaitu analisis menggunakan program Python dimana telah didapatkan nilai I_0 dan nilai I_x tiap tiap step *stepwedge* akrilik pada masing-masing variasi tegangan kemudian dilanjutkan analisis menggunakan *software Microsoft excel* untuk mengetahui densitas akrilik. Berdasarkan persamaan rumus Lambert-Beer

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.1)$$

$$\frac{I_x}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (3.2)$$

$$\frac{I_0}{I_x} = e^{\mu x} \quad (3.3)$$

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Susilo, 2011) maka objek *stepwedge* akrilik bersifat homogen, maka persamaannya dapat ditulis

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \mu x \quad (3.4)$$

Sehingga nilai μ dapat didapatkan dari gradien garis dari persamaan (3.4) dengan melakukan *fitting* dari hubungan $\ln \frac{I_0}{I_x}$ sebagai sumbu y dan ketebalan *stepwedge* akrilik sebagai sumbu x.

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \frac{\mu}{\rho} x \rho \quad (3.5)$$

Karena $\frac{\mu}{\rho} = \mu_m$ maka,

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \mu_m x \rho \quad (3.6)$$

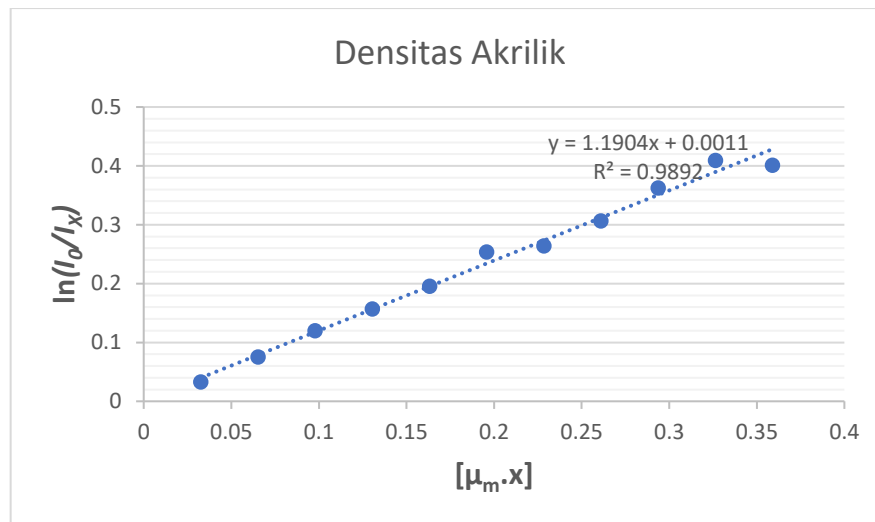
Atau dapat ditulis

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \rho \mu_m x \quad (3.7)$$

Selanjutnya menentukan koefisien atenuasi massa. Satuan dari koefisien atenuasi massa adalah g/cm^2 yang dapat dihitung dengan melihat persamaan (3.5) dan (3.6)

yaitu $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$

Berdasarkan persamaan (3.7) menunjukkan bahwa untuk menghitung densitas bahan *stepwedge* akrilik dilakukan dengan cara *fitting* grafik antara $\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right)$ dan $(\mu_m \cdot x)$ yang diolah menggunakan *software Microsoft excel* (Wiguna et al., 2019). Sehingga dapat ditentukan melalui grafik seperti dibawah ini:



Gambar 3. 4 Grafik Densitas Akrilik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Stepwedge* Akrilik

Akrilik adalah sebuah material yang berwarna bening transparan yang merupakan *polymethyl methacrylate* yang merupakan polimer sintesis dari metil metakrilat yang bersifat mencair bila dipanaskan. Akrilik juga biasanya digunakan sebagai bahan pengganti kaca karena sifatnya yang elastis dan secara teknis lebih dapat bertahan pada tekanan air. Seperti pada salah satu contohnya adalah pembuatan akuarium lebih cenderung menggunakan akrilik daripada kaca karena penggunaan kaca untuk akuarium akan berlumut sedangkan penggunaan akrilik tidak. Selain itu, akrilik juga dimanfaatkan untuk pembuatan signage pada gedung atau toko, letter timbul, plakat, podium, tempat brosur, *sign wall*, bingkai foto, gantungan kunci dan hiasan-hiasan lainnya. Adapun pemanfaatan akrilik dalam bidang kedokteran yaitu untuk bedah rekonstruksi karena tidak menimbulkan reaksi pada tubuh, dan tidak menghantarkan listrik (Nurmasyitah, 2017).

Secara umum *stepwedge* yang ada berbahan aluminium yang digunakan untuk objek pembuatan phantom. Tetapi kelemahan dari *stepwedge* aluminium ini adalah harganya yang relatif mahal dan memiliki fungsi yang sama. Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Susilo (2011) yang menggunakan *stepwedge* berbahan dasar akrilik sebagai uji homogenitas berkas sinar-X menggunakan Computed Radiography (CR). Oleh karena itu, peneliti memanfaatkan pengukuran densitas menggunakan *stepwedge* akrilik untuk mengetahui densitas sebuah benda.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan (Wiguna et al., 2019) yang mencari densitas akrilik dan plastik menggunakan X-ray Micro-Digital Radiography dengan menggunakan *stepwedge* dengan tinggi 24 mm, panjang 24 mm, dan lebar 3 mm. Sekali ekspos menghasilkan 5 citra sekaligus sehingga untuk mendapatkan nilai intensitas diperoleh dari rata-ratanya. Hasil densitas akrilik berdasarkan citra radiografi adalah $0,79 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ dan hasil densitas akrilik yang dihitung secara langsung adalah $1,06 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai densitas akrilik menggunakan alat Radiografi Digital SF100BY yang terdapat pada Laboratorium Fisika Medik UNNES. Alat ini adalah alat radiografi konvensional yang dimodifikasi sehingga menjadi radiografi digital. Pada penelitian ini dilakukan sekali ekspose untuk mendapatkan nilai intensitas citra radiografi dan dilakukan beberapa variasi tegangan. *Stepwedge* yang digunakan mempunyai 11 undak dengan lebar 5 cm, tebal 0,5 cm, tinggi 5,5 cm dan panjang 16,5 cm.

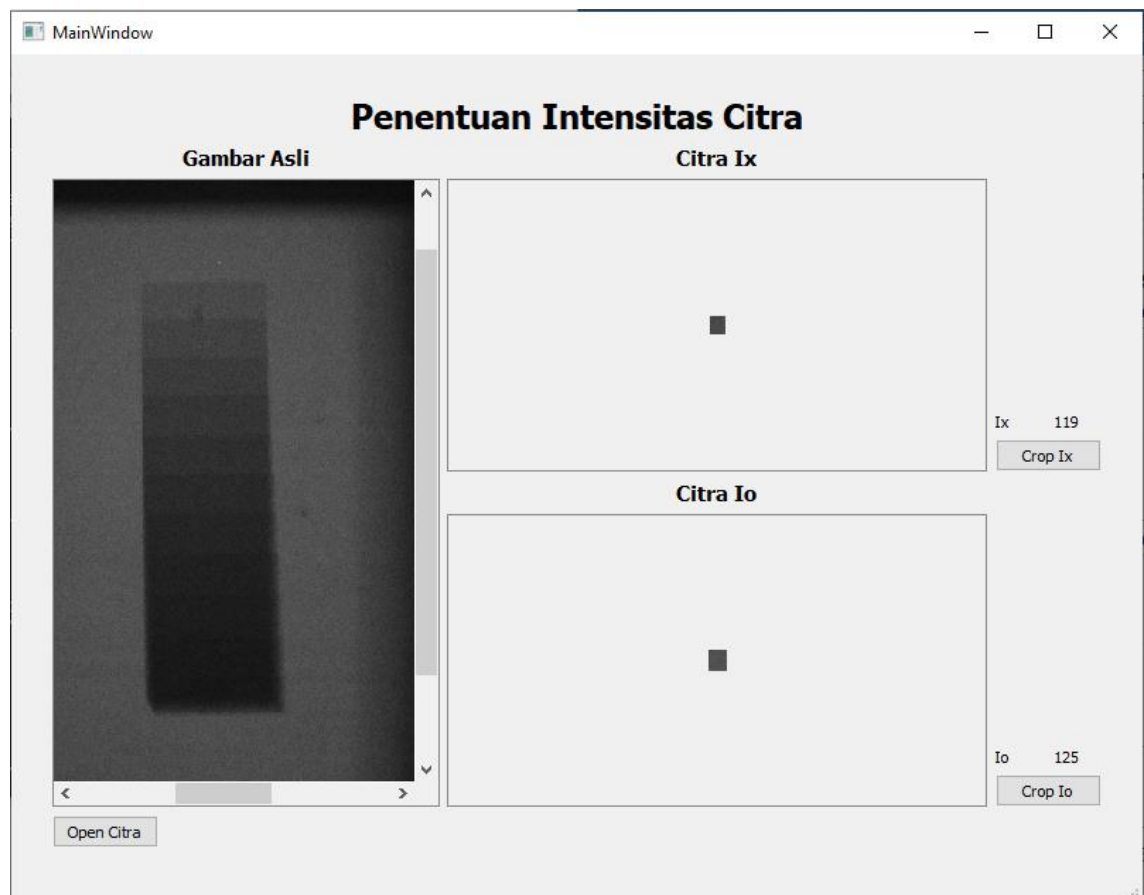
4.2 Analisis menggunakan *Software Python*

Penelitian ini menggunakan *stepwedge* akrilik yang nantinya akan disinari sinar-X menggunakan alat radiografi digital yang terdapat pada Laboratorium Fisika Medik UNNES. Radiografi tersebut adalah suatu modifikasi dari radiografi konvensional menjadi radiografi digital sehingga hasil citra radiografi dapat langsung dilihat pada layar monitor komputer serta menghasilkan file dapat disimpan serta di proses lebih lanjut seperti halnya teknik pengolahan citra (Susilo et al., 2014)

Selanjutnya untuk pengolahan hasil citra radiografi ada beberapa *software* atau program yang digunakan untuk menganalisis diantaranya menggunakan Matlab seperti penelitian yang dilakukan oleh (Ningtias et al., 2016), program Borland Delphi version 7 (yang dilengkapi Delphi TvideoCap versi 2.3) seperti analisa yang digunakan oleh (Masithoh & Kusuma, 2008), dan *visual basic* (Muwardi & Fadlil, 2017). Pada penelitian ini menggunakan program Python 3.8 sebagai analisis hasil citra radiografi.

Python adalah bahasa pemrograman dinamis yang mendukung pemrograman berbasis objek dan merupakan bahasa pemrograman model skrip (*scripting language*). Bahasa Python juga mendukung hampir semua system operasi lengkap dengan *source code*-nya, *debugger* dan *profiler*, terdapat pelayanan antarmuka, fungsi, GUI, dan basis datanya. *Software* ini mudah diimplementasikan sehingga dapat membantu programmer untuk mengembangkan aplikasi yang dibuat (Perkasa et al., 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui densitas pada *stepwedge* akrilik yang telah dibuat dan dianalisis menggunakan program Python 3.8. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 yaitu tampilan GUI pada Python yang telah dibuat sehingga dapat memperlihatkan hasil citra radiografi yang telah dihasilkan setelah mengekspos menggunakan radiografi digital.



Gambar 4. 1 Tampilan GUI pada Python.

Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada hasil citra radiografi yang ditampilkan pada GUI terlihat tingkat keabuan *stepwedge* dari gelap sampai terang. GUI hasil citra radiografi yang didapat akan diubah menjadi angka tingkat keabuan (*grey level*). Gambar asli adalah gambar yang dihasilkan radiografi digital berupa citra *stepwedge* akrilik sedangkan citra I_o adalah hasil crop dari citra asli pada bagian *background* atau hasil citra yang sinar-X nya tidak menembus bahan sehingga dari sini akan menghasilkan nilai intensitas awal. Citra I_x adalah citra hasil crop dari

citra asli pada bagian *foreground* atau hasil citra yang sinar-X nya menembus bahan sehingga akan menghasilkan nilai intensitas citra setelah menembus bahan.

ROI (*Region of Interest*) atau proses *cropping* citra adalah tahap lokalisasi pada area citra radiografi yang diinginkan. Piksel tersebut akan dibandingkan dengan piksel tetangga. Perbandingan tersebut akan menghasilkan perbedaan dalam tingkat intensitas nilai piksel. Maka diambil yang memiliki kualitas yang lebih baik dari area sekitarnya sehingga nilai ROI dapat mewakili semua piksel (Fitriya & Kom, 2019). Proses *cropping* ini dilakukan pada tiap step sehingga pada satu citra asli menghasilkan 11 kali *cropping* baik pada *background* maupun *foreground* dan dilakukan pemotongan secara berdekatan diantara keduanya karena adanya *Effect Heel*. *Effect Heel* adalah intensitas yang menuju katoda lebih banyak daripada intensitas yang menuju anoda. Apabila objek yang dilalui sinar-X memiliki perbedaan dalam ketebalan maka bagian sisi pada anoda akan melintasi ketebalan yang lebih besar daripada sisi katoda. Karena arah sinar yang tegak lurus dengan permukaan anoda akan mengalami pelemahan yang lebih sedikit (Fosbinder & Orth, 2012). Setelah melakukan *cropping* maka akan didapatkan nilai intensitas awal dan nilai intensitas setelah melewati bahan selanjutnya data tersebut diolah pada *software Microsoft Excel*.

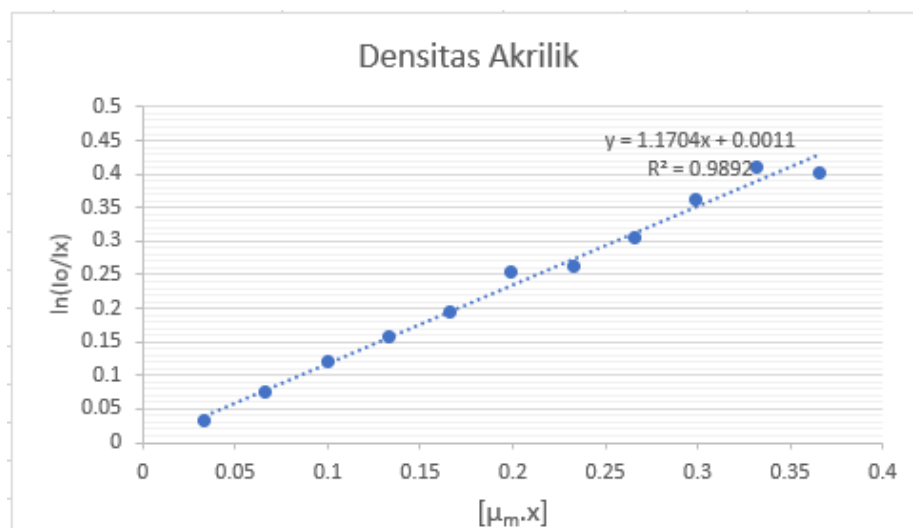
Densitas adalah tingkat kehitaman pada citra radiografi yang dihasilkan. Penelitian ini digunakan variasi tegangan yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV, dan 70 kV. Perubahan tegangan ini akan mempengaruhi besar intensitas yang diterima oleh benda. Karena semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan artinya semakin tinggi perbedaan tegangan diantara anoda dan katoda. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya tegangan maka akan mempercepat elektron dari katoda menuju anoda begitu pula energinya akan semakin besar maka daya tembus sinar-X akan semakin besar pula. Perubahan nilai tabung juga akan mempengaruhi panjang gelombang yang dihasilkan yang nantinya akan mempengaruhi kualitas dan kuantitas hasil citra radiografi (Ratnasari, 2018; Yunitasari et al., 2014).

4.2.1 Tegangan 45 kV

Tabel 4. 1 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 45 kV.

Step	Ketebalan (cm)	45		
		I _o	I _x	ln(I _o /I _x)
1	0.5	124	120	0.03279
2	1	124	115	0.075349
3	1.5	124	110	0.119801
4	2	124	106	0.156842
5	2.5	124	102	0.195309
6	3	125	97	0.253603
7	3.5	125	96	0.263966
8	4	125	92	0.306525
9	4.5	125	87	0.362406
10	5	125	83	0.409473
11	5.5	121	81	0.401341

Berdasarkan hasil Tabel 4.1 yang telah didapat setelah diolah menggunakan program Python, pada tegangan 45 kV intensitasnya menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan bahan. Intensitas awal pada tegangan 45 kV ini berkisar antara 121- 125 sedangkan dari intensitas setelah menumbuk objek *stepwedge* akrilik yaitu berkisar antara 81-120.



Gambar 4. 2 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 45 kV.

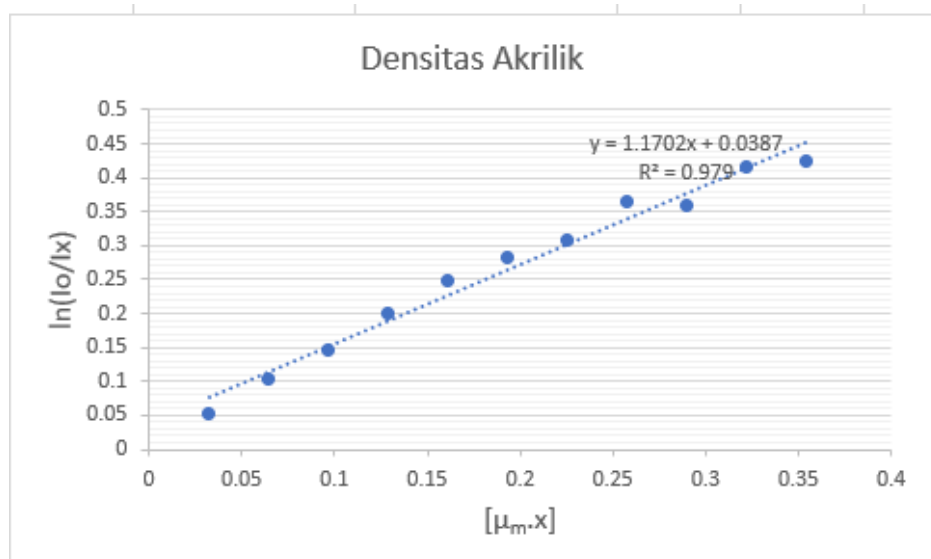
Gambar 4.2 adalah sebuah hasil pengolahan sebuah citra radiografi yang telah diolah menggunakan metode grafik *software Microsoft Excel* sehingga besar nilai densitas akrilik pada tegangan 45 kV yaitu sebesar 1,1704 g/cm³.

4.2.2 Tegangan 50 kV

Tabel 4. 2 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 50 kV.

Step	Ketebalan (cm)	50 kV		
		I _o	I _x	ln(I _o /I _x)
1	0.5	154	146	0.053346
2	1	154	139	0.102479
3	1.5	154	133	0.146603
4	2	154	126	0.200671
5	2.5	154	120	0.249461
6	3	154	116	0.283362
7	3.5	154	113	0.309565
8	4	154	107	0.364124
9	4.5	152	106	0.360441
10	5	150	99	0.415515
11	5.5	150	98	0.425668

Intensitas awal pada tegangan 50 kV seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.2 berada pada rentang 150-154 dan intensitas yang didapatkan setelah menumbuk bahan pada tegangan adalah berkisar 98-146.



Gambar 4. 3 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 50 kV.

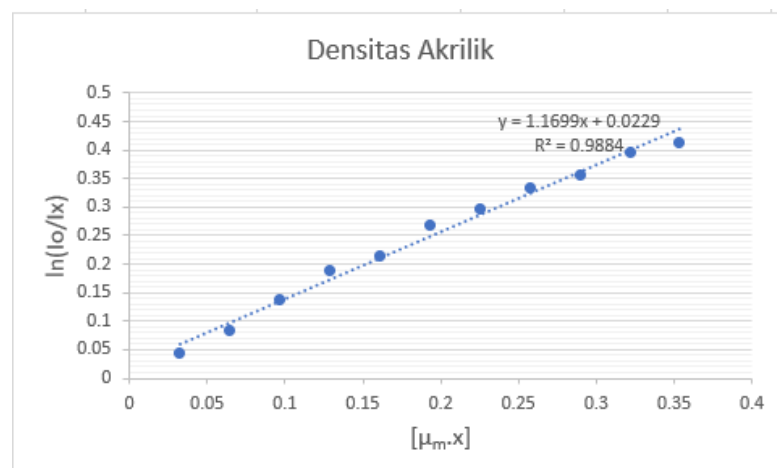
Hasil citra radigradi yang diolah menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai intensitas awal dan intensitas setelah menumbuk bahan selanjutnya diolah menggunakan metode grafik pada *Software Microsoft Excel* untuk tegangan sebesar 50 kV dihasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.3 dengan menghasilkan nilai densitas akrilik sebesar 1,1702 g/cm³.

4.2.3 Tegangan 55 kV

Tabel 4. 3 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 55 kV.

Step	Ketebalan (cm)	55		
		I _o	I _x	ln(I _o /I _x)
1	0.5	186	178	0.043963
2	1	186	171	0.084083
3	1.5	187	163	0.137358
4	2	187	155	0.187683
5	2.5	187	151	0.213829
6	3	187	143	0.268264
7	3.5	187	139	0.296635
8	4	187	134	0.333269
9	4.5	183	128	0.357456
10	5	183	123	0.397302
11	5.5	183	121	0.413696

Berdasarkan hasil Tabel 4.3 yang telah didapat setelah diolah menggunakan program Python, pada tegangan 55 kV intensitasnya menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan bahan. Intensitas awal pada tegangan 55 kV ini berkisar antara 183- 187 sedangkan dari intensitas setelah menumbuk objek *stepwedge* akrilik yaitu berkisar antara 121-178.



Gambar 4. 4 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 55 kV.

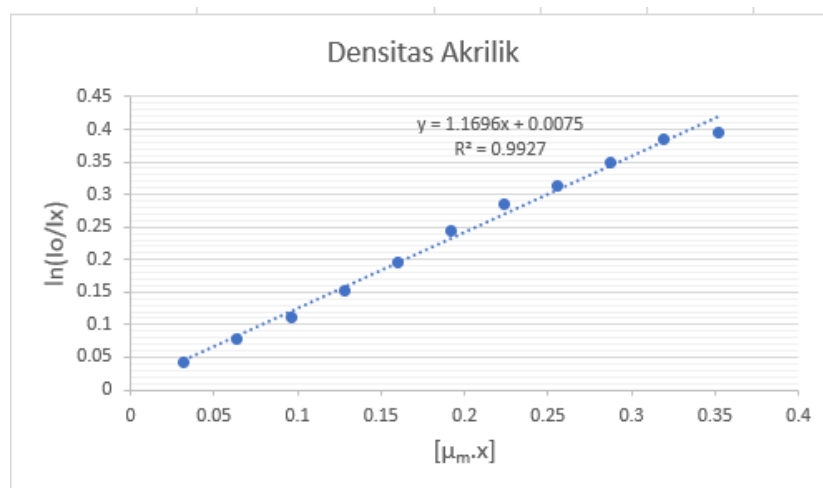
Hasil citra radigradi yang diolah menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai intensitas awal dan intensitas setelah menumbuk bahan selanjutnya diolah menggunakan metode grafik pada *Software Microsoft Excel* untuk tegangan sebesar 55 kV dihasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.4 dengan menghasilkan nilai densitas akrilik sebesar 1,1699 g/cm³.

4.2.4 Tegangan 60 kV

Tabel 4. 4 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 60 kV.

Step	Ketebalan (cm)	60 Kv		
		I _o	I _x	ln(I _o /I _x)
1	0.5	197	189	0.041457
2	1	198	183	0.078781
3	1.5	198	177	0.112117
4	2	198	170	0.152469
5	2.5	198	163	0.194517
6	3	198	155	0.244842
7	3.5	198	149	0.284321
8	4	197	144	0.31339
9	4.5	194	137	0.347877
10	5	194	132	0.385056
11	5.5	193	130	0.395156

Berdasarkan hasil Tabel 4.4 yang telah didapat setelah diolah menggunakan program Python, pada tegangan 60 kV intensitasnya menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan bahan. Intensitas awal pada tegangan 60 kV ini berkisar antara 193 - 198 sedangkan dari intensitas setelah menumbuk objek *stepwedge* akrilik yaitu berkisar antara 130-189.



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 60 kV.

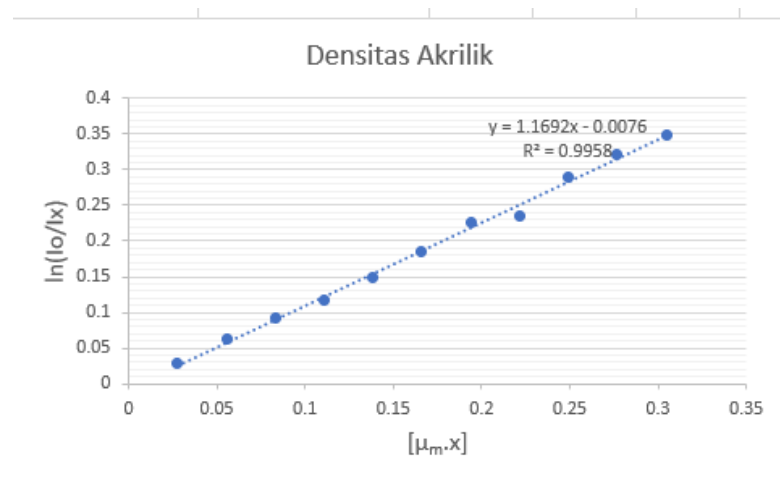
Hasil citra radigrasi yang diolah menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai intensitas awal dan intensitas setelah menumbuk bahan selanjutnya diolah menggunakan metode grafik pada *Software Microsoft Excel* untuk tegangan sebesar 60 kV dihasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.5 dengan menghasilkan nilai densitas akrilik sebesar 1,1696 g/cm³.

4.2.5 Tegangan 65 kV

Tabel 4. 5 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 65 kV.

Step	Ketebalan (cm)	65 kV		
		I_0	I_x	$\ln(I_0/I_x)$
1	0.5	217	211	0.028039
2	1	218	205	0.061485
3	1.5	218	199	0.09119
4	2	218	194	0.116637
5	2.5	218	188	0.148053
6	3	218	181	0.185998
7	3.5	218	174	0.22544
8	4	215	170	0.23484
9	4.5	215	161	0.289234
10	5	214	155	0.322551
11	5.5	210	148	0.349895

Berdasarkan hasil Tabel 4.5 yang telah didapat setelah diolah menggunakan program Python, pada tegangan 65 kV intensitasnya menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan bahan. Intensitas awal pada tegangan 65 kV ini berkisar antara 210-218 sedangkan dari intensitas setelah menumbuk objek *stepwedge* akrilik yaitu berkisar antara 148-211.



Gambar 4. 6 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 65 kV.

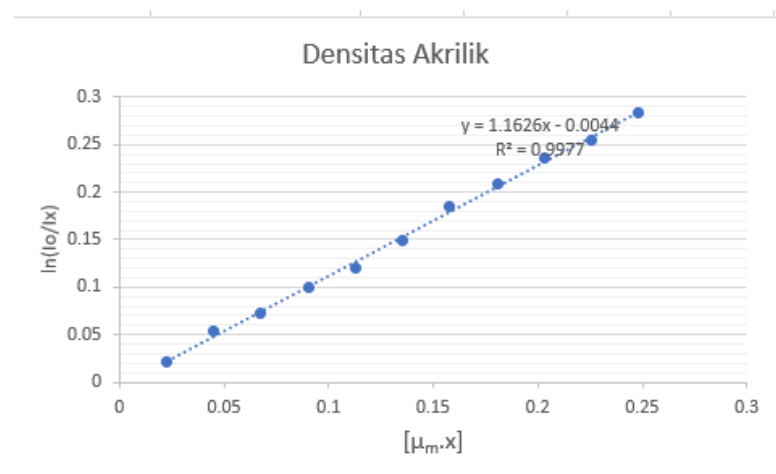
Hasil citra radigradi yang diolah menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai intensitas awal dan intensitas setelah menumbuk bahan selanjutnya diolah menggunakan metode grafik pada *Software Microsoft Excel* untuk tegangan sebesar 65 kV dihasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.6 dengan menghasilkan nilai densitas akrilik sebesar $1,1692 \text{ g/cm}^3$.

4.2.6 Tegangan 70 kV

Tabel 4. 6 Intensitas *Stepwedge* Akrilik 70 kV.

Step	Ketebalan (cm)	70 kV		
		I_0	I_x	$\ln(I_0/I_x)$
1	0.5	229	224	0.022076
2	1	231	219	0.053346
3	1.5	231	215	0.07178
4	2	231	209	0.100083
5	2.5	231	205	0.119408
6	3	231	199	0.149113
7	3.5	231	192	0.184922
8	4	229	186	0.207975
9	4.5	228	180	0.236389
10	5	227	176	0.254466
11	5.5	227	171	0.283286

Berdasarkan hasil Tabel 4.6 yang telah didapat setelah diolah menggunakan program Python, pada tegangan 70 kV intensitasnya menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan bahan. Intensitas awal pada tegangan 70 kV ini berkisar antara 227- 231 sedangkan dari intensitas setelah menumbuk objek *stepwedge* akrilik yaitu berkisar antara 171-224.



Gambar 4. 7 Grafik Nilai Densitas Akrilik pada Tegangan 70 kV.

Hasil citra radigradi yang diolah menggunakan program Python untuk mendapatkan nilai intensitas awal dan intensitas setelah menumbuk bahan selanjutnya diolah menggunakan metode grafik pada *Software Microsoft Excel* untuk tegangan sebesar 70 kV dihasilkan grafik yang terdapat pada Gambar 4.6 dengan menghasilkan nilai densitas akrilik sebesar $1,1626 \text{ g/cm}^3$.

Hasil dari beberapa variasi tegangan diatas yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV, dan 70 kV untuk menentukan densitas pada *stepwedge* akrilik didapatkan bahwa grafik yang dihasilkan tiap variasi menunjukkan grafik yang linier, tegangan tabung sinar-X akan mempengaruhi intensitas yaitu semakin tinggi tegangan sinar-X yang digunakan maka semakin besar pula intensitas yang didapatkan pada hasil citra radiografi. Intensitas juga cenderung semakin menurun seiring dengan bertambahnya ketebalan akrilik tersebut. Nilai intensitas awal atau intensitas yang tidak mengenai bahan lebih besar daripada nilai intensitas setelah mengenai bahan hal ini dikarenakan jika suatu sinar-X terpancar dan mengenai suatu bahan maka sinar-X akan berinteraksi dengan bahan tersebut. Adanya proses interaksi ini menyebabkan hilangnya sebagian intensitas sinar-X karena diserap oleh objek itu sendiri yang dalam penelitian ini adalah *stepwedge* akrilik sehingga interaksi ini pula yang menyebabkan intensitas radiasi terusan (I_x) menurun secara eksponensial terhadap ketebalan bahan.

Menurut hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Wiguna 2019) Pengukuran densitas atau densitas menggunakan radiografi digital ini juga bergantung pada besarnya energi output pada sinar-X. Karena energi output ini akan mempengaruhi tingkat serapan massa pada bahan jika semakin tinggi energi output sinar-X maka koefisien serap massa akan semakin kecil begitupun sebaliknya apabila energi outputnya rendah maka koefisien serap massa akan semakin rendah.

Dilihat dari hasil grafik diatas yaitu pada tegangan yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV, dan 70 kV didapatkan nilai densitas akrilik secara berurutan yaitu $1,1704 \text{ g/cm}^3$, $1,1702 \text{ g/cm}^3$, $1,1699 \text{ g/cm}^3$, $1,1696 \text{ g/cm}^3$, $1,1692 \text{ g/cm}^3$ dan $1,1626 \text{ g/cm}^3$. Berdasarkan acuan dari *database* NIST (*physical measurement laboratory*) yang menyebutkan bahwa akrilik (*Polymethyl Methacrylate*) memiliki densitas sebesar $1,19 \text{ g/cm}^3$ sehingga nilai densitas pada penelitian ini mendekati dengan nilai teori.

4.3 Analisis Perhitungan secara Manual

Selain perhitungan dengan program Python dari hasil citra radiografi pada penelitian ini juga dihitung densitas akrilik secara manual dengan acuan rumus sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

ρ = densitas (g/cm^3)

m = massa akrilik (gram)

V = volume (cm^3)

Rumus (4.1) diatas maka untuk mendapatkan densitas akrilik secara manual harus mengetahui massa akrilik dan volumenya. Cara mengetahui massa dilakukan dengan menimbang massa akrilik sehingga didapatkan massa sebesar 281 gram. Sedangkan untuk melakukan pengukuran volume dilakukan dengan gelas ukur yang diisi dengan air dan didapatkan volume sebesar 240 cm^3 maka hasil densitas melalui pengukuran secara manual sebesar $1,17 \text{ g/cm}^3$.

Hasil ini diterapkan pada hukum Archimedes yang menyatakan bahwa setiap benda yang tercelup baik keseluruhan maupun sebagian fluida, maka benda tersebut akan menerima dorongan ke atas (gaya apung). Dengan densitas air sebesar 1 g/cm^3 dengan hasil densitas akrilik yang dihitung secara manual adalah $1,17 \text{ g/cm}^3$ maka densitas benda lebih besar dari densitas zat cair ($\rho_b > \rho_f$) maka benda tersebut akan tenggelam jika di letakkan didalam air.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Hasil penelitian yang dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai densitas menggunakan citra radiografi dengan variasi tegangan yaitu 45 kV, 50 kV, 55 kV, 60 kV, 65 kV, dan 70 kV didapatkan nilai densitas akrilik secara berurutan yaitu $1,1704 \text{ g/cm}^3$, $1,1702 \text{ g/cm}^3$, $1,1699 \text{ g/cm}^3$, $1,1696 \text{ g/cm}^3$, $1,1692 \text{ g/cm}^3$ dan $1,1626$. Sedangkan hasil densitas akrilik dengan perhitungan manual adalah sebesar $1,17 \text{ g/cm}^3$.
2. Hasil densitas yang mendekati perhitungan manual adalah pada tegangan 55 kV. Semakin tinggi tegangan maka atenuasi linier dan atenuasi massanya akan semakin kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada objek material lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I. G. (2014). Uji Kesesuaian Lampu Kolimasi Dengan Berkas Radiasi Menggunakan Alat Quality Control (Qc). In *Universitas Udayana*.
- Ancila, C., & Hidayanto, E. (2016). Analisis Dosis Paparan pada Instalasi Radiologi Dental Panoramik. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 441–450.
- Bushberg, J. ., Seibert, J. ., Leidholdt, E. ., & Boone, J. . (2012). The Essential Physics of Medical Imaging , 3rd ed. In *American Journal of Roentgenology* (3rd ed.). Wolters Kluwer. <https://doi.org/10.2214/ajr.180.3.1800596>
- Bushong, S. C. (2001). *Radiologic Science for Technologists (7th ed.)*. A Harcourt Health Science Comp.
- Carroll, Q. B. (2011). *Radiography in the Digital Age*. Charles C Thomas.
- Fakhrurreza, M., & Majidah, P. K. (2018). Pengaruh Banyaknya Radiasi dan Perubahan Energi Sinar-X terhadap Peningkatan Pembentukan Radikal Bebas pada Air. *Journal of Health Studies*, 2(1), 34–40. <https://doi.org/10.31101/jhes.432>
- Fitler. (2018). *Pembuatan dan Karakterisasi Perisai Radiasi Sinar-X Berbasis Polyester Timbal Asetat Sebagai Salah Satu Alternatif Pengganti Kaca Timbal*. Universitas Sumatera Utara.
- Fitler, Tarigan, K., Sembiring, T., & Sinuhaji, P. (2018). Fabrication and Characteristics of X-Ray Radiation Shield base on Polyester and Lead Acetate as Alternative of Replacement Radiation Shielding Lead Glass. *IJSRSET*, 4(9), 434–445.
- Fitriawan, M. (2014). Kajian Teori Dasar Pada Nanomaterial Timbal Sebagai Proteksi Radiasi. *ResearchGa*, 2, 2–5. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2859.9842>
- Fitriya, K., & Kom, M. (2019). Segmentasi Region of Interest (Roi) Garis Telapak Tangan. *Jurnal Explore It!*, 11(1), 29–40. <http://jurnal.yudharta.ac.id/v2/index.php/EXPLORE-IT/>
- Fosbinder, R., & Orth, D. (2012). *Essential Of Radiologic Science*. McGraw-Hill.
- J.H. Hubbell and S.M. Seltzer, "Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients,

Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements $Z = 1$ to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest”, 1996. [<https://www.nist.gov/publications/tables-x-ray-mass-attenuation-coefficients-and-mass-energy-absorption-coefficients-1-0>]

Khairani, N., Azam, M., Sofjan, K. F., & Soeleman. (2007). Penentuan Kandungan Unsur Krom dalam Limbah Tekstil dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron. *Berkala Fisika*, 10(1), 35–43.

Listiaji, P., & Suparta, G. B. (2020). Inspeksi Material menggunakan Mikro-Radiografi Sinar-X Digital melalui Pengukuran Densitas. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(1), 7. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.4817>

Masithoh, R. E., & Kusuma, S. A. (2008). Analisis Citra untuk Mengamati Perubahan Kenampakan Visual Bawang Merah (*Allium Ascalonicum*, L) karena Pengeringan. *Agritech*, 28(3), 113–119. <https://doi.org/10.22146/agritech.9774>

Matori, M. K., Ramli, A. A. M., Salleh, H., Isa, M. J. M., Ripin, A., Hasyim, A., Ismail, W. H., Abdullah, Z., Jamaluddin., Rahman, F. A., Azizan, S. A., & Zin, K. M. (2014). *Penggunaan Americium-241 bagi Pengukuran Ketebalan Kesetaraan Plumbum untuk Bilik Sinar-x Perubatan: Satu Kajian*. <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/xrays.htm>

Melhem, E., Assi, A., Rachkidi, E. R., & Ghanem, I. (2016). EOS® biplanar X-ray imaging: concept, developments, benefits, and limitations. *Journal of Children's Orthopaedics*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11832-016-0713-0>

Mousa, A., Kusminarto, K., & Suparta, G. B. (2017). A New Simple Method to Measure the X-ray Linear Attenuation Coefficients of Materials using Micro-Digital Radiography Machine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(21), 10589–10594.

Muharini, A., & Rosita, W. (2017). Studi Koefisien Atenuasi Kulit Sintetis dengan

- Bahan Isian Pb(NO₃)₂ untuk Bahan Apron Proteksi Radiasi Pada Instalasi Radiodignostik. *Prosiding, November*, 375–382.
- Muwardi, F., & Fadlil, A. (2017). Sistem Pengenalan Bunga Berbasis Pengolahan Citra dan Pengklasifikasi Jarak. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika (JITEKI)*, 3(2), 124. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v3i2.7470>
- Ningtias, D. R., Suryono, S., & Susilo, S. (2016). Pengukuran Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah Citra. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(2), 161–168. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v12i2.5950>
- Nuraeni, A., Azzahra, U. H., & Nana. (2005). *Menentukan Frekuensi Spektrum Elektromagnetik pada Aktivitas Pembelajaran Fisika*.
- Nurmasyitah. (2017). Penentuan Konstanta Dielektrik Akrilik. *Jurnal Jeumpa*, 4(2), 9–15.
- Ozcete, E., Boydak, B., Ersel, M., Kiyani, S., Uz, I., & Cevrim, O. (2015). Comparison of Conventional Radiography and Digital Computerized Radiography in Patients Presenting to Emergency Department. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 15(1), 8–12. <https://doi.org/10.5505/1304.7361.2014.90922>
- Pauwels, R., Araki, K., Siewerdsen, J. H., & Thongvigitmanee, S. S. (2015). Technical Aspects of Dental CBCT: State of the Art. *British Institute of Radiology*, 44, 1–20. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20140224>
- Perkasa, T. R., Widyantara, H., & Susanto, P. (2014). Rancang Bangun Pendeteksi Gerak Menggunakan Metode Image Substraction Pada Single Board Computer (SBC). *Journal of Control and Network Systems*, 3(2), 90–97.
- Rahma, I. N. (2016). Tutup Instalasi Listrik pada Atap Rumah sebagai Bahan Proteksi Radiasi Sinar-X. In *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Ramadhan, A. Z., Sitam, S., Azhari, A., & Epsilawati, L. (2019). Gambaran Kualitas dan Mutu Radiograf. *Jurnal Radiologi Dentomaksilofasial Indonesia*, 3(3), 43. <https://doi.org/10.32793/jrdi.v3i3.445>
- Ratnasari, nunung gupita. (2018). *Optimasi Filter Sinar-X untuk Aplikasi Radiasi Pada Radiografi Digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES*. Universitas

Negeri Semarang.

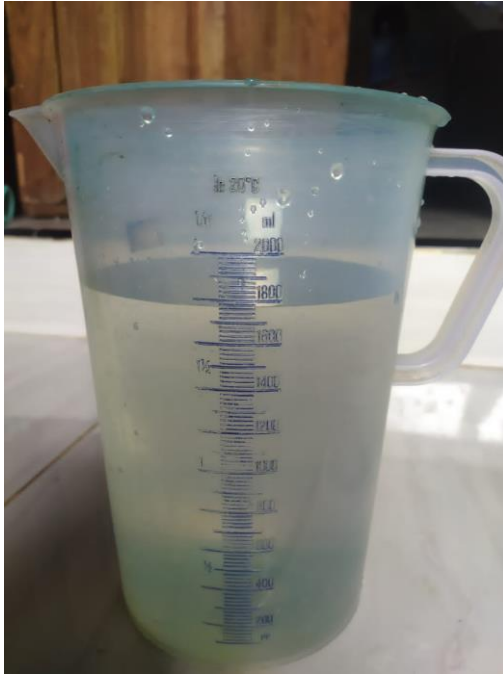
- Rudi, Pratiwi, & Susilo. (2012). Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar-X di Instalasi Radiodiagnostik untuk Proteksi Radiasi. *Unnes Physics Journal*, *1*(1).
- Sari, A. W., & Fransiska, E. (2018). Pengaruh Faktor Eksposi dengan Ketebalan Objek pada Pemeriksaan Foto Thorax Terhadap Gambaran Radiografi. *Journal of Health*, *5*(1), 17. <https://doi.org/10.30590/vol5-no1-p17-21>
- Sumarni, & Mart, T. (2000). Penentuan Energi Efektif Sinar-X Radiodiagnostik. *Proceeding Ilmiah Keslamatan Radiasi Dan Lingkungan*, 23–24.
- Susila, I. ., Sukandar, Yuniarsari, L., & Suyatno, F. (2012). Perancangan Perangkat Sinar-X Digital untuk Diagnosis Medis. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir*, 240–252.
- Susilo. (2016). *Modul Radiografi Sinar-X Digital*. 1–10.
- Susilo, Budi, W. ., & Kusminarto. (2011). Analisis Homogenitas Bahan Acrylic dengan Teknik Radiografi Sinar-X. *Jurnal Fisika*, *1*(1), 29–35.
- Susilo, Budi, W. ., Kusminarto, & Suparta, G. . (2013). Kajian Radiografi Digital Tulang Tangan. *Berkala Fisika*, *16*(1), 15–20.
- Susilo, Sunarno, Setiowati, E., & Lestari, L. (2012). Aplikasi Alat Radiografi Digital dalam Pengembangan Layanan Foto Rontgen. *Jurnal MIPA*, *35*(2), 145–150.
- Susilo, Sunarno, Swakarma, I. K., Setiawan, R., & Wibowo, E. (2013). Kajian Sistem Radiografi Digital sebagai Pengganti Sistem Computed Radiography yang Mahal. *Jurnal Fisika Indonesia*, *17*(50), 40–43. <https://doi.org/10.22146/jfi.24423>
- Susilo, Supriyadi, Sutikno, Sunarno, & Setiawan, R. (2014). Rancang Bangun Sistem Penangkap Gambar Radiograf Digital Berbasis Kamera DSLR. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, *10*(1), 66–74. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v10i1.3052>
- Tewary, S., Luzzo, J., & Hartwell, G. (2011). Endodontic Radiography: Who is Reading the Digital Radiograph? *Journal of Endodontics*, *37*(7), 919–921. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.02.027>

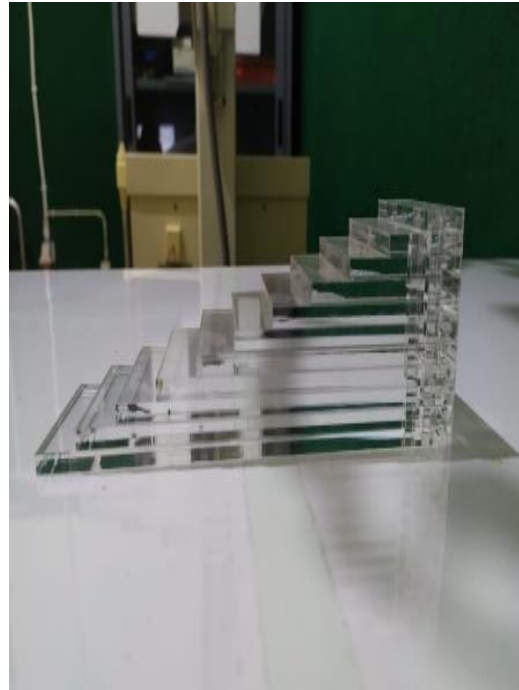
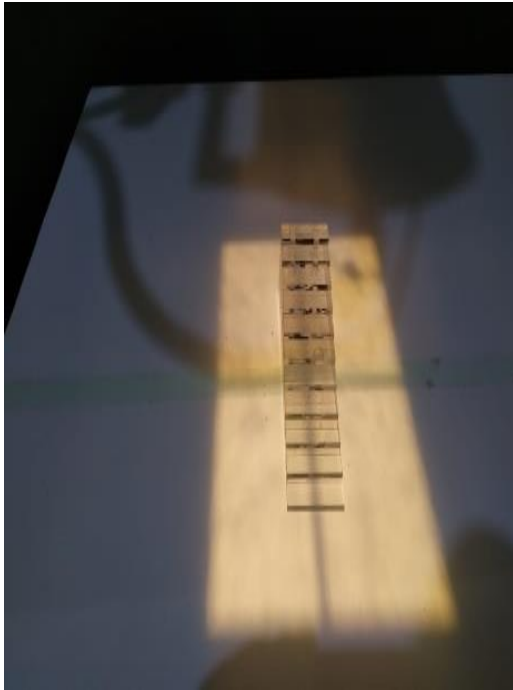
- Widyanti, K. N., Noor, J. A., & Juswono, U. P. (2013). Penentuan dan Pengukuran Dosis Serap Radiasi Sinar-X pada Permukaan Pantom Kepala (Skull Phantom) menggunakan Metode Entrance Skin Exposure (ESE). *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Wiguna, G. A., Alshweikh, A. M., Suparta, G. B., Louk, A. C., & Kusminarto, K. (2019). Penentuan Densitas Akrilik dan Plastik berdasarkan Citra Radiografi Digital. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(1).
- Wijaya, N. H., Kartika, W., & Utari, A. R. D. (2019). Deteksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik dari Peralatan Medis dan Elektronik di Rumah Sakit. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 6(2), 102–106. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v6i2.1393>
- Yunitasari, H. D., Setiawati, E., & Anam, C. (2014). Evaluasi Metode Penentuan Half Value Layer (HVL) menggunakan Multi Purpose Detector (MPD) Barracuda pada Pesawat Sinar-X Mobile. *Youngster Physics Journal*, 3(2), 113–118.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian





Lampiran 2 *Source Code Python*

```
# -*- coding: utf-8 -*-

# Form implementation generated from reading ui file 'tampilan.ui'
#
# Created by: PyQt5 UI code generator 5.13.2
#
# WARNING! All changes made in this file will be lost!

from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets

class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName("MainWindow")
        MainWindow.resize(800, 600)
        self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(MainWindow)
        self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
        self.horizontalLayout_2 = QtWidgets.QHBoxLayout(self.centralwidget)
        self.horizontalLayout_2.setObjectName("horizontalLayout_2")
        spacerItem = QtWidgets.QSpacerItem(20, 20, QtWidgets.QSizePolicy.Fixed,
QtWidgets.QSizePolicy.Minimum)
        self.horizontalLayout_2.addItem(spacerItem)
        self.verticalLayout_2 = QtWidgets.QVBoxLayout()
        self.verticalLayout_2.setObjectName("verticalLayout_2")
        spacerItem1 = QtWidgets.QSpacerItem(20, 20,
QtWidgets.QSizePolicy.Minimum, QtWidgets.QSizePolicy.Fixed)
        self.verticalLayout_2.addItem(spacerItem1)
```

```
self.gridLayout_13 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_13.setObjectName("gridLayout_13")
self.label = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
sizePolicy = QtWidgets.QSizePolicy(QtWidgets.QSizePolicy.Preferred,
QtWidgets.QSizePolicy.Fixed)
sizePolicy.setHorizontalStretch(0)
sizePolicy.setVerticalStretch(0)
sizePolicy.setHeightForWidth(self.label.sizePolicy().hasHeightForWidth())
self.label.setSizePolicy(sizePolicy)
font = QtGui.QFont()
font.setPointSize(18)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label.setFont(font)
self.label.setAutoFillBackground(False)
self.label.setAlignment(QtCore.Qt.AlignCenter)
self.label.setObjectName("label")
self.gridLayout_13.addWidget(self.label, 0, 0, 1, 1)
self.splitter = QtWidgets.QSplitter(self.centralwidget)
self.splitter.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.splitter.setObjectName("splitter")
self.layoutWidget = QtWidgets.QWidget(self.splitter)
self.layoutWidget.setObjectName("layoutWidget")
self.gridLayout_11 = QtWidgets.QGridLayout(self.layoutWidget)
self.gridLayout_11.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.gridLayout_11.setObjectName("gridLayout_11")
self.label_10 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget)
font = QtGui.QFont()
```

```
font.setPointSize(11)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_10.setFont(font)
self.label_10.setAlignment(QtCore.Qt.AlignCenter)
self.label_10.setObjectName("label_10")
self.gridLayout_11.addWidget(self.label_10, 0, 0, 1, 1)
self.scrollArea = QtWidgets.QScrollArea(self.layoutWidget)
self.scrollArea.setWidgetResizable(True)
self.scrollArea.setObjectName("scrollArea")
self.scrollAreaWidgetContents = QtWidgets.QWidget()
self.scrollAreaWidgetContents.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 260, 199))
self.scrollAreaWidgetContents.setObjectName("scrollAreaWidgetContents")
self.gridLayout = QtWidgets.QGridLayout(self.scrollAreaWidgetContents)
self.gridLayout.setObjectName("gridLayout")
self.label_2 = QtWidgets.QLabel(self.scrollAreaWidgetContents)
self.label_2.setText("")
self.label_2.setObjectName("label_2")
self.gridLayout.addWidget(self.label_2, 0, 0, 1, 1)
self.scrollArea.setWidget(self.scrollAreaWidgetContents)
self.gridLayout_11.addWidget(self.scrollArea, 1, 0, 1, 1)
self.layoutWidget1 = QtWidgets.QWidget(self.splitter)
self.layoutWidget1.setObjectName("layoutWidget1")
self.gridLayout_12 = QtWidgets.QGridLayout(self.layoutWidget1)
self.gridLayout_12.setContentsMargins(0, 0, 0, 0)
self.gridLayout_12.setObjectName("gridLayout_12")
self.gridLayout_9 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_9.setObjectName("gridLayout_9")
```

```
self.gridLayout_8 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_8.setObjectName("gridLayout_8")
self.label_5 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
font = QtGui.QFont()
font.setPointSize(11)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_5.setFont(font)
self.label_5.setAlignment(QtCore.Qt.AlignCenter)
self.label_5.setObjectName("label_5")
self.gridLayout_8.addWidget(self.label_5, 0, 0, 1, 1)
self.scrollArea_2 = QtWidgets.QScrollArea(self.layoutWidget1)
self.scrollArea_2.setWidgetResizable(True)
self.scrollArea_2.setObjectName("scrollArea_2")
self.scrollAreaWidgetContents_2 = QtWidgets.QWidget()
self.scrollAreaWidgetContents_2.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 366, 80))

self.scrollAreaWidgetContents_2.setObjectName("scrollAreaWidgetContents_2")
    self.gridLayout_5 =
QtWidgets.QGridLayout(self.scrollAreaWidgetContents_2)
    self.gridLayout_5.setObjectName("gridLayout_5")
    self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self.scrollAreaWidgetContents_2)
    self.label_3.setText("")
    self.label_3.setObjectName("label_3")
    self.gridLayout_5.addWidget(self.label_3, 0, 0, 1, 1)
    self.scrollArea_2.setWidget(self.scrollAreaWidgetContents_2)
    self.gridLayout_8.addWidget(self.scrollArea_2, 1, 0, 1, 1)
    self.gridLayout_9.addLayout(self.gridLayout_8, 0, 0, 1, 1)
    self.verticalLayout = QtWidgets.QVBoxLayout()
```

```
self.verticalLayout.setObjectName("verticalLayout")
spacerItem2 = QtWidgets.QSpacerItem(20, 40,
QtWidgets.QSizePolicy.Minimum, QtWidgets.QSizePolicy.Expanding)
self.verticalLayout.addItem(spacerItem2)
self.gridLayout_2 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_2.setObjectName("gridLayout_2")
self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_4.setObjectName("label_4")
self.gridLayout_2.addWidget(self.label_4, 0, 0, 1, 1)
self.nilapixel = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.nilapixel.setObjectName("nilapixel")
self.gridLayout_2.addWidget(self.nilapixel, 0, 1, 1, 1)
self.verticalLayout.addLayout(self.gridLayout_2)
self.pushButton_2 = QtWidgets.QPushButton(self.layoutWidget1)
self.pushButton_2.setObjectName("pushButton_2")
self.verticalLayout.addWidget(self.pushButton_2)
self.gridLayout_9.addLayout(self.verticalLayout, 0, 1, 1, 1)
self.gridLayout_12.addLayout(self.gridLayout_9, 0, 0, 1, 1)
self.gridLayout_10 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_10.setObjectName("gridLayout_10")
self.gridLayout_7 = QtWidgets.QGridLayout()
self.gridLayout_7.setObjectName("gridLayout_7")
self.label_9 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
font = QtGui.QFont()
font.setPointSize(11)
font.setBold(True)
font.setWeight(75)
self.label_9.setFont(font)
```

```
self.label_9.setAlignment(QtCore.Qt.AlignCenter)
self.label_9.setObjectName("label_9")
self.gridLayout_7.addWidget(self.label_9, 0, 0, 1, 1)
self.scrollArea_3 = QtWidgets.QScrollArea(self.layoutWidget1)
self.scrollArea_3.setWidgetResizable(True)
self.scrollArea_3.setObjectName("scrollArea_3")
self.scrollAreaWidgetContents_3 = QtWidgets.QWidget()
self.scrollAreaWidgetContents_3.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 366, 79))

self.scrollAreaWidgetContents_3.setObjectName("scrollAreaWidgetContents_3")
    self.gridLayout_6 =
QtWidgets.QGridLayout(self.scrollAreaWidgetContents_3)
    self.gridLayout_6.setObjectName("gridLayout_6")
    self.label_6 = QtWidgets.QLabel(self.scrollAreaWidgetContents_3)
    self.label_6.setText("")
    self.label_6.setObjectName("label_6")
    self.gridLayout_6.addWidget(self.label_6, 0, 0, 1, 1)
    self.scrollArea_3.setWidget(self.scrollAreaWidgetContents_3)
    self.gridLayout_7.addWidget(self.scrollArea_3, 1, 0, 1, 1)
    self.gridLayout_10.addLayout(self.gridLayout_7, 0, 0, 1, 1)
    self.gridLayout_4 = QtWidgets.QGridLayout()
    self.gridLayout_4.setObjectName("gridLayout_4")
    spacerItem3 = QtWidgets.QSpacerItem(20, 40,
QtWidgets.QSizePolicy.Minimum, QtWidgets.QSizePolicy.Expanding)
    self.gridLayout_4.addItem(spacerItem3, 0, 0, 1, 1)
    self.gridLayout_3 = QtWidgets.QGridLayout()
    self.gridLayout_3.setObjectName("gridLayout_3")
    self.label_7 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
    self.label_7.setObjectName("label_7")
```



```
self.gridLayout_3.addWidget(self.label_7, 0, 0, 1, 1)
self.label_8 = QtWidgets.QLabel(self.layoutWidget1)
self.label_8.setObjectName("label_8")
self.gridLayout_3.addWidget(self.label_8, 0, 1, 1, 1)
self.gridLayout_4.addLayout(self.gridLayout_3, 1, 0, 1, 1)
self.pushButton_3 = QtWidgets.QPushButton(self.layoutWidget1)
self.pushButton_3.setObjectName("pushButton_3")
self.gridLayout_4.addWidget(self.pushButton_3, 2, 0, 1, 1)
self.gridLayout_10.addLayout(self.gridLayout_4, 0, 1, 1, 1)
self.gridLayout_12.addLayout(self.gridLayout_10, 1, 0, 1, 1)
self.gridLayout_13.addWidget(self.splitter, 1, 0, 1, 1)
self.horizontalLayout = QtWidgets.QHBoxLayout()
self.horizontalLayout.setObjectName("horizontalLayout")
self.pushButton = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton.setObjectName("pushButton")
self.horizontalLayout.addWidget(self.pushButton)
spacerItem4 = QtWidgets.QSpacerItem(40, 20,
QtWidgets.QSizePolicy.Expanding, QtWidgets.QSizePolicy.Minimum)
self.horizontalLayout.addItem(spacerItem4)
self.gridLayout_13.addLayout(self.horizontalLayout, 2, 0, 1, 1)
self.verticalLayout_2.addLayout(self.gridLayout_13)
spacerItem5 = QtWidgets.QSpacerItem(20, 10,
QtWidgets.QSizePolicy.Minimum, QtWidgets.QSizePolicy.Fixed)
self.verticalLayout_2.addItem(spacerItem5)
self.horizontalLayout_2.addLayout(self.verticalLayout_2)
spacerItem6 = QtWidgets.QSpacerItem(20, 20,
QtWidgets.QSizePolicy.Fixed, QtWidgets.QSizePolicy.Minimum)
self.horizontalLayout_2.addItem(spacerItem6)
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
```

```

self.menubar = QtWidgets.QMenuBar(MainWindow)
self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 800, 21))
self.menubar.setObjectName("menubar")
MainWindow.setMenuBar(self.menubar)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(MainWindow)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)

self.retranslateUi(MainWindow)
QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)

```

```
def retranslateUi(self, MainWindow):
```

```

    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    MainWindow.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "MainWindow"))
    self.label.setText(_translate("MainWindow", "Penentuan Intensitas Citra"))
    self.label_10.setText(_translate("MainWindow", "Gambar Asli"))
    self.label_5.setText(_translate("MainWindow", "Citra Ix"))
    self.label_4.setText(_translate("MainWindow", "Ix"))
    self.nilaipixel.setText(_translate("MainWindow", "0"))
    self.pushButton_2.setText(_translate("MainWindow", "Crop Ix"))
    self.label_9.setText(_translate("MainWindow", "Citra Io"))
    self.label_7.setText(_translate("MainWindow", "Io"))
    self.label_8.setText(_translate("MainWindow", "0"))
    self.pushButton_3.setText(_translate("MainWindow", "Crop Io"))
    self.pushButton.setText(_translate("MainWindow", "Open Citra"))

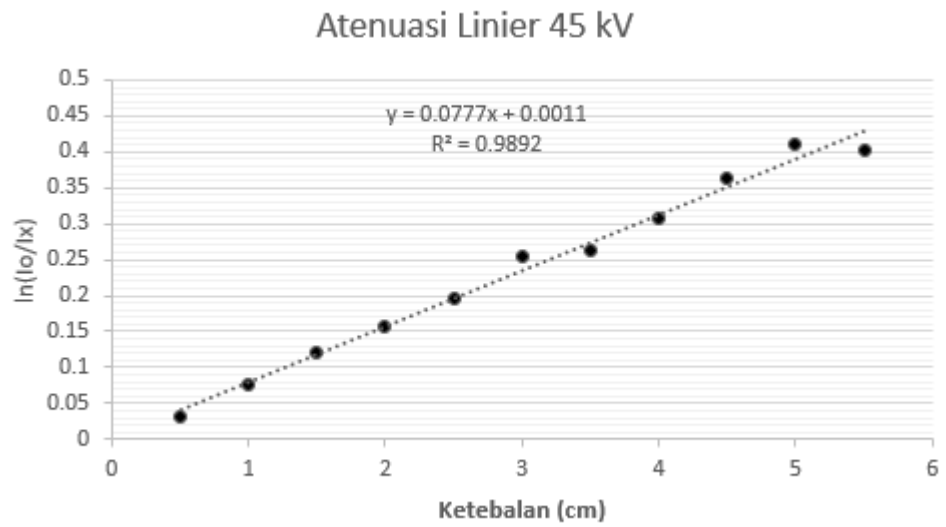
```

```
if __name__ == "__main__":
```

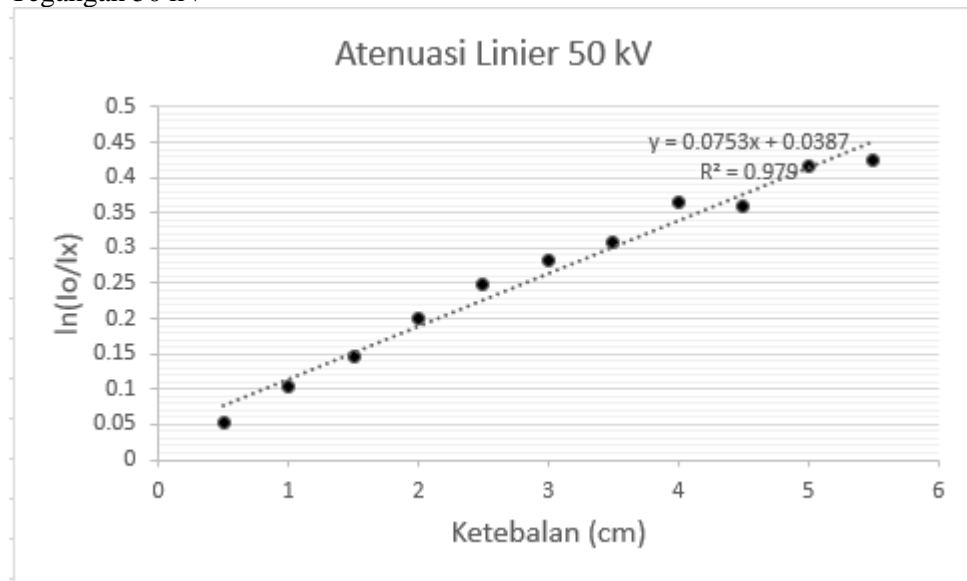
```
import sys
app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
MainWindow = QtWidgets.QMainWindow()
ui = Ui_MainWindow()
ui.setupUi(MainWindow)
MainWindow.show()
sys.exit(app.exec_())
```

Lampiran 3 Hasil attenuasi linier

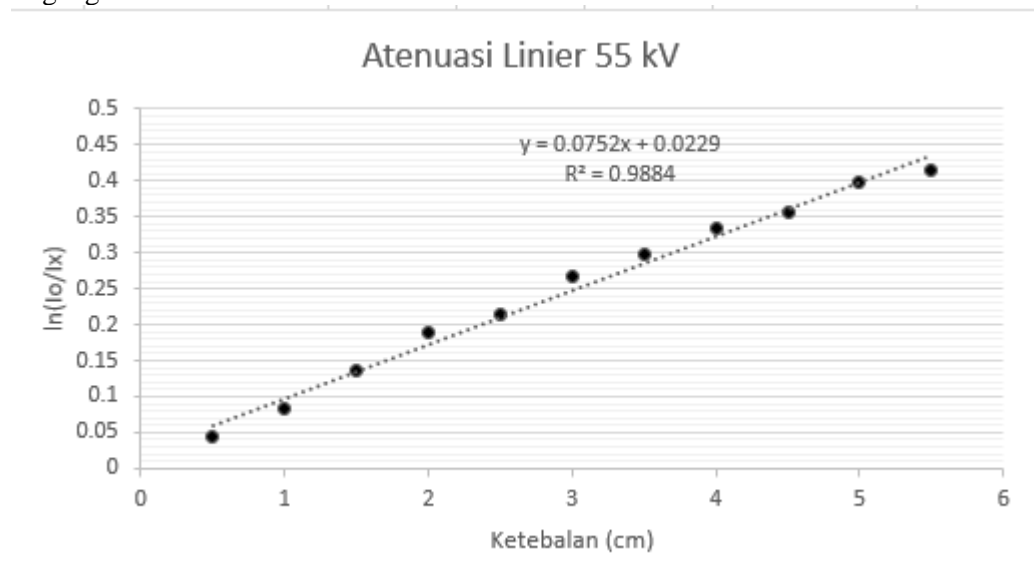
a) Tegangan 45 kV



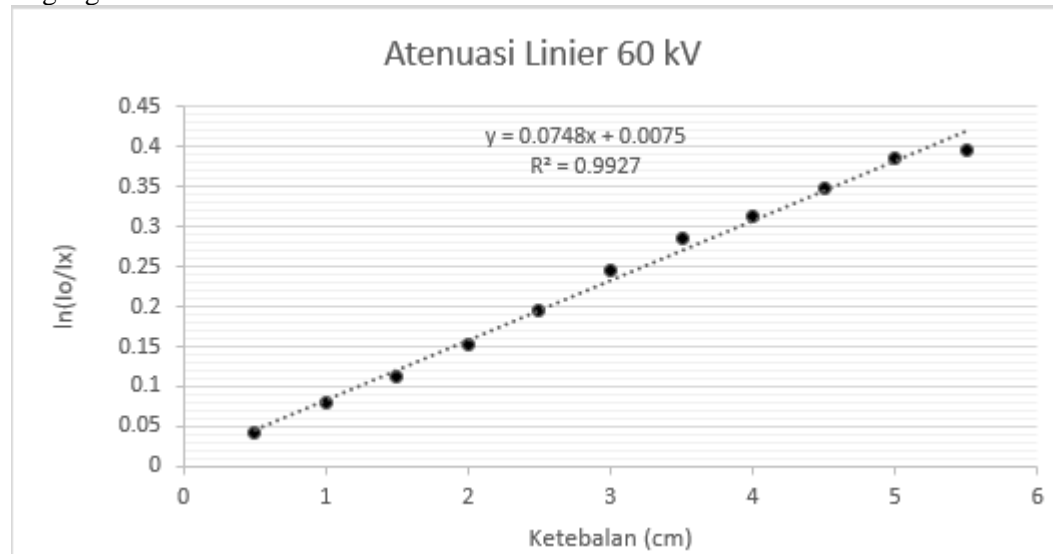
b) Tegangan 50 kV



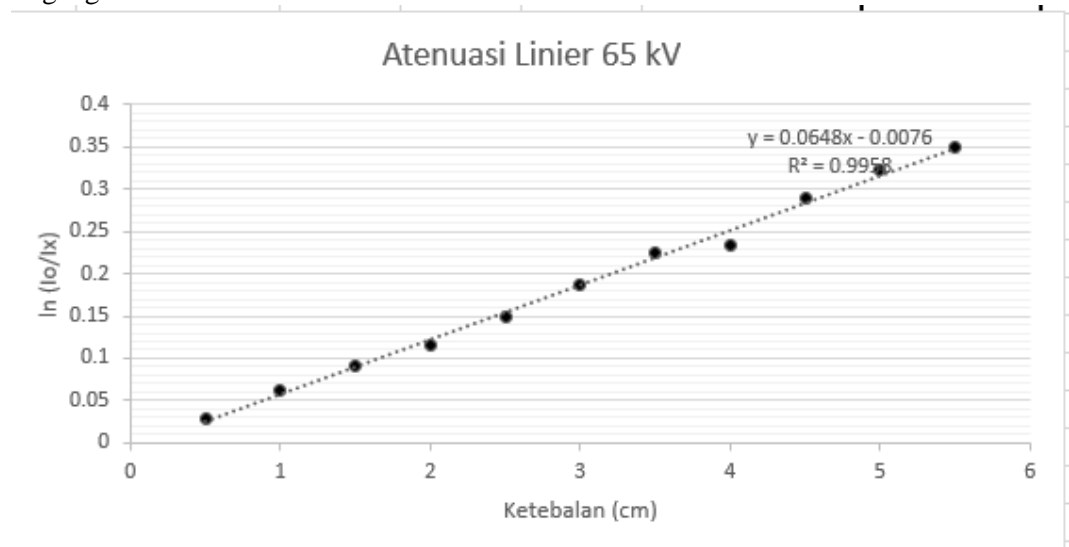
c) Tegangan 55 kV



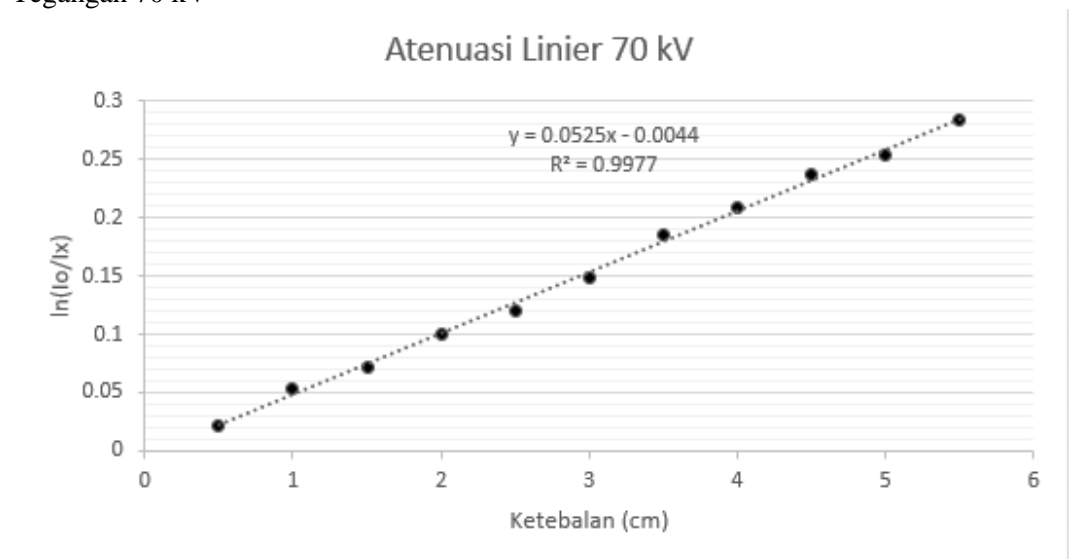
d) Tegangan 60 kV



e) Tegangan 65 kV



f) Tegangan 70 kV



Lampiran 4 SK pembimbing



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**
Nomor: 3440/UN37-L.4/PT/2020
Tentang
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2019/2020**

- Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;
- Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 17 Maret 2020
- MEMUTUSKAN**
- Menetapkan :
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:
Nama : Prof. Dr. Susilo, M. S.
NIP : 195208011976031006
Pangkat/Golongan : Pembina Utama Madya - IV/d
Jabatan Akademik : Profesor
Sebagai Pembimbing
Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :
Nama : DEFI RIZQI ANGGRAENI
NIM : 4211416031
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
Topik : Digitizer untuk radiografi konvensional
- KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Wakil Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

4211416031

...: FM-03-AKD-24/Rev. 00 :...



Lampiran 5 SK penguji



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
 UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
 Gedung D7 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
 Telepon: 0248508034
 Laman: fisika.unnes.ac.id, surel: fisika@unnes.ac.id, s.ac.id

No. : 8555/UN.37.1.4/RT/2020
 Lamp. :
 Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

Dengan ini kami tetapkan bahwa ujian Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk jurusan Fisika adalah sebagai berikut:

I. Susunan Panitia Ujian:

a. Ketua : Dr. Sugianto, M.Si.
 b. Sekretaris : Dr. Suharto Linuwih, M. Si.
 c. Pembimbing Utama : Prof. Dr. Susilo, M. S.
 d. Penguji : 1. Dr. MASTURI, M. Si.
 : 2. Fifi Dewati Ratnasari, S. Si., M. Sc.

II. Calon yang diuji:

Nama : DEFI RIZQI ANGGRAENI
 NIM/Jurusan/Program Studi : 4211416031/Fisika
 /Fisika, S1
 Judul Skripsi : PENENTUAN MASSA JENIS AKRILIK MENGGUNAKAN RADIOGRAFI DIGITAL DI LABORATORIUM FISIKA MEDIK UNNES

II. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal : Jumat / 30 Oktober 2020
 Jam : 09:00:00
 Tempat : Daring
 Pakaian :

Tembusan
 1. Ketua Jurusan FISIKA
 2. Calon yang diuji



4211416031