



**PENGOLAHAN ULANG LIMBAH TIMBAL AKI SEBAGAI
PROTEKSI RADIASI SINAR-X**

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

Oleh
Latifatun Ni'mah
4211416005

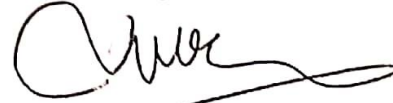
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul “Pengolahan Ulang Limbah Timbal Aki Sebagai Proteksi Radiasi Sinar-X” ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 01 September 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, 10 September 2020



Latifatun Ni'mah

4211416005

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Pengolahan Ulang Limbah Timbal Aki Sebagai Proteksi Radiasi Sinar-X

disusun oleh

Latifatun Ni'mah

4211416005

Telah dipertahankan dalam ujian skripsi Jurusan Fisika, FMIPA UNNES pada 10
September 2020

Panitia:



Ketua

Dr. Sugianto, M.Si.

NIP. 196102191993031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

NIP. 196807141996031005

Penguji 1

Drs. Mosik, M.S.

NIP. 195807241983031001

Penguji 2

Prof. Dr. Sutikno, M.T.

NIP. 197411201999031003

Pembimbing

Prof. Dr. Susilo, M.S.

NIP. 195208011976031006

MOTTO

Jangan terlalu ambil hati dengan ucapan seseorang, kadang manusia punya mulut
tapi belum tentu punya pikiran

Albert Einstein

Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat Jalanmu sendiri dan
tinggalkan jejak.

Ralph Waldo Emerson

PERSEMBAHAN

Orangtuaku tercinta Bapak Slamet

Wiyono dan Ibu Maskanah

PRAKATA

Segala puji bagi Allah yang telah memberikan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengolahan Ulang Limbah Timbal Aki Sebagai Proteksi Radiasi Sinar-X”**. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penelitian ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Slamet Wiyono, Ibu Maskanah, dan adikku Muhammad Nurroziqin yang selalu memberikan semangat, dorongan dan motivasi baik secara moril maupun materil
2. Dr. Sugianto, M.Si., Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si., Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
4. Dr. Mahardika Prasetya Aji, M.Si., Koordinator Prodi Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
5. Prof. Dr. Susilo, M.S., Pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran serta memberikan motivasi, bimbingan, dan dalam penyusunan skripsi ini
6. Drs. Mosik, M.S., selaku penguji I yang telah membimbing dan memberikan koreksi dalam penulisan skripsi ini
7. Prof. Dr. Sutikno, M.T., selaku Penguji II yang telah membimbing dan memberikan koreksi dalam penyusunan skripsi ini
8. Teknisi Laboratorium Fisika: Rodhotul Muttaqin, S.Si., Natalia Erna S., S.Pd., dan Wasi Sakti Wiwit Prayitno, S.Pd yang telah membantu jalannya penelitian
9. Mas Alvin fachrully yang selalu menemani, membimbing, dan memberikan arahan selama kegiatan penelitian juga senantiasa memberikan semangat
10. Shania, Defi, Ugil, Pira, Ain, Adhe dan semua teman di lab Fisika sebagai teman diskusi, teman penelitian dan teman seperbimbingan yang selalu memberikan semangat

11. Teman-teman Fisika 2016, teman-teman KKN Alternatif IA Desa Kandri Kecamatan Gunungpati 2019, dan teman teman Duta Getuk Magelang atas motivasi dan dukungan selama menjalani penelitian, KKN, dan perkuliahan
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang membantu menyelesaikan skripsi ini.

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, 10 September 2020

Penulis

Latifatun Ni'mah

ABSTRAK

Ni'mah, Latifatun. 2020. *Pengolahan Ulang Limbah Timbal Aki Sebagai Proteksi Radiasi Sinar-X*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.S.

Kata kunci: polyester timbal, laju dosis serap, koefisien atenuasi, proteksi radiasi

Proteksi radiasi adalah upaya mengurangi terimaan dosis radiasi untuk melindungi para pekerja radiasi dan masyarakat umum dari bahaya penggunaan zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya. Prinsip proteksi radiasi adalah mengurangi intensitas radiasi dengan materi. Pengurangan intensitas radiasi dapat menggunakan bahan penyerap radiasi. Bahan penyerap radiasi yang efektif adalah timbal. Timbal dapat digunakan sebagai bahan penyerap radiasi dikarenakan memiliki nomor atom dan densitas yang tinggi. Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan timbal bekas komponen aki sepeda motor yang di doping pada resin yukalac C108B. Sampel dibuat dengan variasi konsentrasi timbal 10%, 20%, 30%, dan 40% serta dengan variasi ketebalan 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm; 2 cm; 2,5 cm, 3 cm. Kemudian dilakukan pengujian dengan mengekspose sampel menggunakan sinar-X dan mengukur dosis serapnya menggunakan surveymeter. Dengan penambahan konsentrasi timbal dan ketebalan sampel menyebabkan peningkatan nilai laju dosis serap sinar-X terhadap bahan. Selain itu, juga menunjukkan penambahan nilai $\log \frac{GL_0}{GL}$, sebagai alternatif densitas optik dan penurunan nilai $\ln \frac{GL}{GL_0}$, sebagai transmisi sinar-X terhadap sampel. Berdasarkan penelitian diperoleh nilai koefisien atenuasi dengan variasi konsentrasi timbal dan rerata ketebalan sebesar $0,11328048 \text{ cm}^{-1}$; $0,15691327 \text{ cm}^{-1}$; $0,1831095 \text{ cm}^{-1}$; dan $0,21584088 \text{ cm}^{-1}$. Timbal bekas aki sepeda motor dapat digunakan sebagai alternatif pembuatan bahan penyerap radiasi dengan pertimbangan kemampuan menyerap radiasi.

ABSTRACT

Ni'mah, Latifatun. 2020. *Re-Processing Of Waste Lead Of Accumulators (Accu) As X-Ray Radiation Protection*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.S.

Keywords: lead polyester, absorption dose rate, attenuation coefficient, radiation protection

Radiation protection is the means for protecting radiation workers and the general public from the harmful effects of radioactive substances and / or other radiation sources. The principle of radiation protection is to reduce the radiation intensity, one of which can be done by using a radiation absorbing materials. Lead is a material that effectively absorbs radiation due to its high atomic number and density. A research has been conducted by using lead components of waste accumulators dopped with yukalac C108B. Samples were made with variations in lead concentrations of 10%, 20%, 30%, and 40% and with variations in thickness of 0.5 cm; 1 cm; 1.5 cm; 2 cm; 2.5 cm, 3 cm. Tests were carried out by exposing samples to X-ray and measure its absorbtion dose rate using a surveymeter. The increase in lead concentration and thickness causes an increase in the X-ray absorption dose rate. In addition, it also shows an increase in $\log \frac{GL_0}{GL}$ as the alternative to optical density, and a decrease in $\ln \frac{GL}{GL_0}$ which is the X-ray-to-sample transmission value. The results obtained show, the attenuation coefficient value with variation in lead concentration and average thickness were $0.11328048 \text{ cm}^{-1}$; $0.15691327 \text{ cm}^{-1}$; $0.1831095 \text{ cm}^{-1}$; and $0.21584088 \text{ cm}^{-1}$. The lead components from waste accumulators can be used as an alternative for the manufacture of radiation absorbing materials with consideration of its ability to absorbs radiation.

DAFTAR ISI

Halaman

PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Radiasi	6
2.1.1 Sinar-X	7
2.1.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi.....	11
2.1.3. Koefisien Atenuasi	13
2.1.4. Efek Radiasi Pada Tubuh Manusia	16
2.2. Proteksi Radiasi	17
2.2.1. Proteksi Radiasi Eksternal	17
2.2.2. Proteksi Radiasi sinar α , β , dan γ	18
2.2.3. Proteksi radiasi sinar-X	19
2.3. Timbal.....	20
2.3.1. Timbal Oksida.....	20

2.4.	Resin	20
2.4.1.	Resin Polyester.....	21
2.4.2.	Resin polyester Yukalac C -108 B	22
2.4.3.	Katalis.....	22
2.5.	Surveymeter	22
BAB III.....		24
METODE PENELITIAN		24
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	24
3.2	Alat dan bahan.....	24
3.3	Metode Penelitian.....	24
3.3.1	Proses Penelitian	24
3.3.2	Proses pembuatan serbuk timbal dari komponen aki sepeda motor	25
3.3.3	Membuat Plat Polyester Timbal.....	25
3.4	Tahapan Penelitian.....	26
3.4.1	Pengukuran Laju Dosis Radiasi	26
3.4.2	Analisis Citra Radiograf	27
BAB IV		30
PEMBAHASAN.....		30
4.1	Pengamatan Sampel.....	30
4.2	Analisis Menggunakan Surveymeter	33
4.3	Analisis Citra dengan software Matlab.....	36
BAB V.....		42
PENUTUP		42
5. 1	Kesimpulan	42
5. 2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tabung Sinar-X	8
Gambar 2.2.	Sinar-X Karakteristik	9
Gambar 2.3.	Sinar-X Bremsstrahlung	10
Gambar 2.4.	Proses Efek Fotolistrik	12
Gambar 2.5.	Proses Hamburan Compton	12
Gambar 2.6.	Proses Produksi Pasangan	13
Gambar 2.7.	Mekanisme Penyerapan Sinar-X	14
Gambar 2.8.	Hubungan antara ketebalan dan intensitas Sinar-X	15
Gambar 2.9.	Ilustrasi daya tembus partikel α, β, γ	16
Gambar 3.1.	Skema penelitian	26
Gambar 3.2.	Algoritma penghitungan Grey Level citra dengan GUI	28
Gambar 3.3.	Tampilan GUI Matlab.....	29
Gambar 4.1.a.	Hasil Uji SEM	30
Gambar 4.1.b.	Hasil Uji EDX	31
Gambar 4.2.a.	Hasil Citra Radiograf 0,5 cm	32
Gambar 4.2.b.	Hasil Citra Radiograf 1 cm	32
Gambar 4.2.c.	Hasil Citra Radiograf 1,5 cm	32
Gambar 4.2.d.	Hasil Citra Radiograf 2 cm	32
Gambar 4.2.e.	Hasil Citra Radiograf 2,5 cm	32
Gambar 4.2.f.	Hasil Citra Radiograf 3 cm	32
Gambar 4.3.	Hasil Citra Radiograf 75 kV	33
Gambar 4.4.	Hasil Citra Radiograf 80 kV	33
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan laju dosis serap terhadap ketebalan sampel	35
Gambar 4.6.	Grafik hubungan $\log \frac{GL_0}{GL}$ terhadap ketebalan sampel dengan variasi konsentrasi timbal	38
Gambar 4.7.	Grafik hubungan $\ln \frac{GL}{GL_0}$ terhadap ketebalan sampel dengan variasi konsentrasi timbal	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Variasi komposisi bahan	25
Tabel 4.1. Tabel pengamatan awal sampel	31
Tabel 4.2. Nilai GL citra plat polyester Pb	37
Tabel 4.3. Nilai $\log \frac{GL_0}{GL}$ citra plat polyester Pb	38
Tabel 4.4. Nilai $\ln \frac{GL}{GL_0}$ citra plat polyester Pb	39
Tabel 4.5. Hubungan koefisien atenuasi terhadap konsentrasi timbal	41

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sinar-X adalah jenis radiasi pengion yang digunakan di rumah sakit untuk menghasilkan gambar internal tubuh organ untuk tujuan diagnostik (M.K. Matori, A. Ripin, H. Salleh, M. J. M. Isa, Z. Jamaluddin, F. Abd Rahman, 2014). Penggunaan sinar-X sebagai sarana pemeriksaan medis disamping memberikan manfaat yang sangat besar juga berpotensi memberikan efek merugikan. Jika radiasi diberikan pada tubuh, kulit akan menerima paparan radiasi paling besar. Oleh karena itu penggunaan sinar-X harus memperhatikan aspek keselamatan kerja radiasi (Fitler, T.K., Sembiring, T., Sinuhaji, P., 2018).

Proteksi radiasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengendalian bahaya kesehatan lingkungan akibat radiasi. Proteksi radiasi adalah upaya untuk mengurangi terimaan dosis radiasi. Proteksi radiasi bertujuan untuk melindungi para pekerja radiasi dan masyarakat umum dari bahaya penggunaan zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya (Setiyawan, I., Sutanto, H., Firdausi, K. S., 2015). Pemerintah telah menerbitkan Peraturan Pemerintah nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan sumber radioaktif, Surat Keputusan Kepala Bapeten nomor 01/Ka-Bapeten/V-99 tentang Kesehatan terhadap radiasi pengion disebut keselamatan radiasi, yang memuat nilai batas dosis yaitu pekerja radiasi < 50 mSv/tahun dan masyarakat umum < 5 mSv/tahun (BAPETEN). Berdasarkan *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* menetapkan nilai batas dosis efektif untuk pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun dan untuk masyarakat 1 mSv/tahun.

Upaya proteksi radiasi harus dilakukan sesuai prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) yakni dosis radiasi yang diterima diupayakan seminimal mungkin demi meminimalisir paparan radiasi yang diterima pekerja radiasi tersebut. Prinsip perisai radiasi adalah mengurangi fluks radiasi dibalik perisai (Wijayanto, 2014). Beberapa kriteria yang harus dipenuhi proteksi radiasi, di antaranya: 1) Aman, yaitu mampu melindungi pengguna dari paparan radiasi

maksimum yang mungkin terjadi. 2) Nyaman, yaitu apron tersebut cukup elastis dan ringan untuk memungkinkan penggunaanya bergerak secara fleksibel. 3) Kuat, yaitu mampu menahan uji tarik dan uji ulur sehingga dapat dijamin *lifetimenya*. 4) *Low cost*, yaitu biaya produksi apron tersebut cukup rendah, yang dapat dicapai jika bahan yang dipakai banyak tersedia dan teknologi yang lebih sederhana. Sesuai dengan ketentuan pada Perka BAPETEN No 8 tahun 2011, disebutkan bahwa dalam penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, pemegang izin harus menyediakan perisai radiasi yang setara dengan dengan 0,2 mm Pb, atau 0,25 mm Pb untuk penggunaan pesawat sinar-X radiologi diagnostik, dan 0,35 mm Pb, atau 0,5 mm Pb untuk pesawat sinar-X radiologi intervensional (BAPETEN). Ruang rontgen atau fasilitas imaging dalam Rumah sakit harus dilengkapi dengan dinding khusus dengan ketebalan yang cukup untuk memastikan bahwa dosis radiasi di luar ruangan tidak melebihi batas bagi pekerja radiasi atau anggota masyarakat (M.K. Matori *et al*, 2014).

Banyak material yang dapat digunakan sebagai bahan proteksi radiasi. Hampir seluruh ruangan radiologi di Indonesia menggunakan Timbal sebagai bahan proteksi radiasi. Penggunaan Timbal sangat besar kemampuannya dalam memproteksi radiasi yang ditimbulkan oleh pesawat-X. Namun penggunaan bahan timbal memerlukan pengerjaan khusus dan dari segi biaya harganya sangat mahal. Oleh karena itu, diperlukan suatu alternatif untuk memperoleh timbal dengan proses yang lebih mudah dan sederhana. Salah satu jalan adalah dengan mendaur ulang timbal yang sudah tidak terpakai. Hal ini juga memiliki keunggulan karena disamping dapat memenuhi timbal dengan proses produksi yang lebih mudah tetapi juga dapat mengurangi pencemaran tanah (Mccaffrey, J. P., Shen, H., Downton, B., 2007).

Dewasa ini logam timbal banyak bermanfaat dalam kehidupan. Salah satu manfaat timbal sebagai komponen utama pembuatan aki. Seiring perkembangan industri otomotif meningkat tajam dan hal ini juga mempengaruhi perkembangan industri komponen pendukung seperti industri aki sebagai komponen pencatu daya pada kendaraan bermotor. Dengan semakin meningkatnya industri aki maka akan semakin besar pula aki bekas sepeda motor yang sudah tidak terpakai. Sehingga

pelat timbal bekas aki sepeda motor yang sudah tidak terpakai pasti menjadi limbah. Timbal merupakan logam yang tahan korosi. Manfaat lain dari pelat timbal yaitu sebagai bahan perisai dari radiasi sinar-X. Ruangan pesawat sinar-X menggunakan pelat timbal sebagai bahan proteksi radiasinya. Untuk itu perlu adanya pengujian terhadap pelat timbal bekas sebagai bahan proteksi radiasi sinar-X, supaya limbah pelat timbal bekas dapat berkurang.

Telah dilakukan penelitian oleh Itsna Nuzulina Rahma (2016) dengan memanfaatkan timbal bekas tutup instalasi listrik pada atap rumah sebagai proteksi radiasi dan menunjukkan adanya pengurangan dosis radiasi terhadap bertambahnya pelat timbal (Rahma, 2016). penelitian oleh Tri Susanti (2015) dengan menggunakan timbal asetat yang di *dopping* pada polyester menunjukkan bahwa timbal dapat mengurangi nilai transmisi sinar-X.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan timbal terhadap laju dosis, pengaruh konsentrasi timbal yang di *dopping* pada polyester terhadap laju dosis radiasi dengan pengujian menggunakan *surveymeter*, serta pengujian citra radiograf dari sampel sehingga dapat diketahui timbal bekas layak digunakan sebagai bahan proteksi radiasi sinar-X.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrsi plat polyester timbal terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X?
2. Bagaimana pengaruh variasi ketebalan plat polyester timbal terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X?
3. Bagaimana hasil citra radiograf plat polyester timbal?

1.3 Batasan Masalah

Timbal yang digunakan adalah pelat timbal bekas pemakaian aki sepeda motor. Pengujian yang dilakukan mengukur laju dosis radiasi sinar-X dengan menggunakan *surveymeter analog* dan mengetahui hasil citraradiograf pelat timbal bekas dengan menggunakan *Digital Radiography (DR)* modifikasi yang ada di Laboratorium Fisika Medik UNNES.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh ketebalan pelat timbal bekas terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X
2. Mengetahui pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X
3. Mengetahui hasil citra radiograf pelat timbal bekas

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat dijadikan sumber acuan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pelat timbal bekas menggunakan aki sepeda motor dengan mengetahui pengaruh ketebalan pelat timbal terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X, pengaruh variasi konsentrasi timbal terhadap laju dosis sinar-X dan mengetahui hasil citra radiograf dari pelat timbal bekas.

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 pengesahan, halaman pernyataan, halaman motto 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, permasalahan, pembatasan 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 merupakan landasan teori yang diterapkan dalam skripsi dan pokok-pokok bahasan yang terkait dalam pelaksanaan penelitian.

3. Bab 3 Metode Penelitian

Bab ini menguraikan metode penelitian yang meliputi: waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, dan prosedur penelitian.

4. Bab 4 Hasil Penelitian 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

Menurut (Fitriawan, 2015) radiasi adalah energi dalam bentuk gelombang atau partikel subatomic yang bergerak. Radiasi dapat didefinisikan sebagai proses dimana energi dilepaskan oleh atom-atom. Menurut (Syahria, Setiawati, & Sofjan, 2012) radiasi merupakan pemancaran energi dalam bentuk gelombang atau partikel yang dipancarkan oleh sumber radiasi atau zat radioaktif. Radiasi secara umum dapat dibagi dalam dua jenis yaitu: radiasi elektromagnetik dan radiasi partikel. Radiasi elektromagnetik terdiri dari non-ionisasi (gelombang radio, microwave, infra merah, sinar tampak, ultraviolet) dan ionisasi (sinar-X dan sinar γ). Adapun radiasi partikel terdiri dari: radiasi alpha, β dan γ (Fitriawan, 2015).

Pada tahun 1903, Ernest Rutherford mengemukakan bahwa radiasi yang dipancarkan zat radioaktif dapat dibedakan atas dua jenis berdasarkan muatannya. Radiasi yang bermuatan positif dinamai sinar α , dan yang bermuatan negatif diberi nama sinar β . Selanjutnya Paul U. Viillard menemukan jenis sinar yang ketiga yang tidak bermuatan dan diberi nama sinar γ .

a. Sinar Alfa (α)

Sinar α merupakan radiasi partikel yang bermuatan positif. Partikel sinar α sama dengan inti helium (${}^4_2\text{He}$) dan bermassa 4 sma. Partikel α adalah partikel terberat yang dihasilkan oleh zat radioaktif. Sinar α dipancarkan dari inti dengan kecepatan sekitar 1/10 kecepatan cahaya. Karena memiliki massa yang besar, daya tembus sinar α paling lemah diantara diantara sinar-sinar radioaktif. Di udara hanya dapat menembus beberapa cm saja dan tidak dapat menembus kulit. Sinar α dapat dihentikan oleh selembar kertas biasa. Sinar α akan kehilangan energinya ketika bertumbukan dengan molekul media yang dilaluinya. Tumbukan itu mengakibatkan media yang dilaluinya mengalami ionisasi. Akhirnya partikel α akan menangkap 2 elektron dan berubah menjadi atom He.

b. Sinar Beta (β)

Sinar β merupakan radiasi partikel bermuatan negatif. Sinar β merupakan berkas elektron yang berasal dari inti atom. Partikel β yang bermuatan $-1e$ dan bermassa $1/1836$ sma. Karena sangat kecil, partikel β dianggap tidak bermassa sehingga dinyatakan dengan notasi $0^{-1}e$ (0_1e). Energi sinar β sangat bervariasi, mempunyai daya tembus lebih besar dari sinar α tetapi daya pengionnya lebih lemah. Sinar β paling energetik dapat menempuh sampai 300 cm dalam udara kering dan dapat menembus kulit.

c. Sinar Gamma (γ)

Sinar γ adalah radiasi elektromagnetik berenergi tinggi, tidak bermuatan dan tidak bermassa. Sinar γ dinyatakan dengan notasi ${}^0_0\gamma$. Sinar γ mempunyai daya tembus paling besar diantara sinar α dan β . Selain sinar α , β , γ , zat radioaktif buatan juga ada yang memancarkan sinar-X dan sinar Positron.

Radiasi tidak dapat dirasakan langsung oleh indra manusia sehingga untuk mengetahui adanya suatu radiasi di suatu tempat maka perlu adanya alat bantu pendeteksi radiasi yang biasa disebut dengan detektor radiasi. Sifat radiasi dapat berinteraksi dengan material yang dilalui dengan proses ionisasi, eksitasi, dan interaksi lainnya. Sifat radiasi tersebut dijadikan sebagai dasar dari pembuatan detector.

2.1.1 Sinar-X

Sinar-X ditemukan oleh Dr. Roentgen ketika ia bereksperimen dengan tabung Crookes, sebuah alat yang pada waktu itu digunakan untuk mempelajari fluoresensi dengan menerapkan tegangan potensial antara katoda dan anoda dalam tabung yang dipanaskan hingga 1000°C (karenanya disebut katoda 'panas'). Temperatur yang tinggi ini menyebabkan pembawa muatan (elektron) dalam bahan katoda memperoleh energi termal yang cukup untuk mengatasi penghalang energi potensial (fungsi kerja material), sehingga pembawa muatan (elektron) dapat melarikan diri ke dalam ruang hampa. Proses ini disebut emisi termionik (Truong *et al.*, 2018).

Elektron yang dilepaskan dari proses emisi termionik dipercepat menuju anoda dengan diberikan tegangan potensial antara katoda dan anoda. Pada tegangan 100 kV, elektron dapat memperoleh kecepatan relativistik hingga 55% dari c , di mana c adalah kecepatan cahaya dalam ruang hampa. Ketika elektron berkecepatan tinggi menumbuk anoda, maka elektron akan mengalami deselerasi (yaitu pengereman) yang menghasilkan sinar-X (Truong *et al.*, 2018). Besar energi sinar-x dapat ditentukan dengan persamaan

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

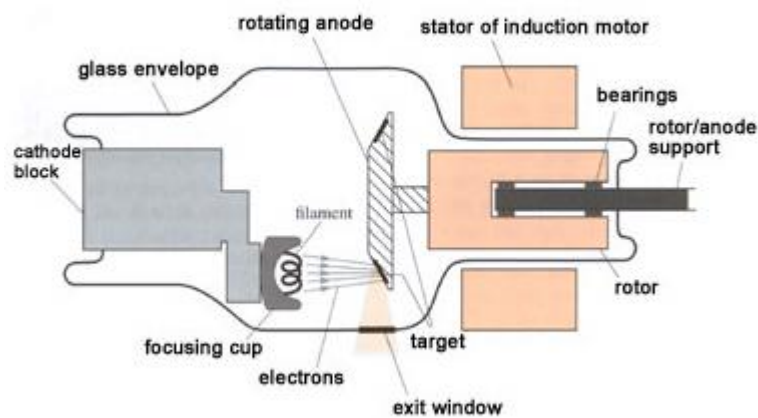
dengan:

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)



Gambar 2.1 Tabung Sinar-X (Fosbinder, 2012)

Gambar 2.1 merupakan diagram tabung sinar-X. Menurut Sjahriar Rasad dalam Serly (2015), proses terbentuknya sinar-x dimulai ketika katoda pada tabung yang berupa kumparan kawat digunakan sebagai *filament* yang bila dipanaskan akan terbentuk elektron. Menurut Hanna dan Wayne dalam Putra (2012), elektron akan dipercepat menuju target logam anoda yang memiliki nomor atom dan titik leleh tinggi. Aliran elektron mengalir dari katoda menuju anoda karena adanya beda potensial antara katoda dan anoda tersebut. Akibat dari tumbukan antara elektron

dan logam anoda ini akan dihasilkan sinar-x. Sinar-x yang terhambur keluar dari tabung akan ditangkap oleh film yang peka terhadap cahaya.

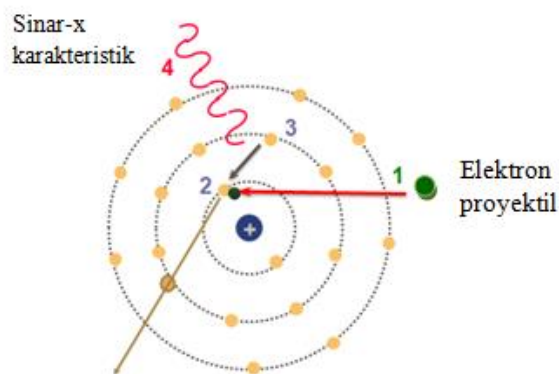
Tegangan tabung (kV) pada pembangkit sinar-X merupakan salah satu faktor yang dapat dikontrol untuk mengurangi radiasi hambur dan mengurangi dosis yang digunakan dalam radiodiagnostik. Peningkatan nilai tegangan tabung akan mengurangi nilai panjang gelombang. Peningkatan nilai tegangan tabung pembangkit sinar-X yang digunakan harus diimbangi dengan penurunan nilai arus tabung pembangkit sinar-X dan waktu penyinaran sehingga diperoleh intensitas radiasi yang cukup (Jia *et al.*, 2017).

$$\lambda = \frac{hc}{eV} \quad (2.2)$$

Berdasarkan proses terjadinya, sinar-X dibagi menjadi dua yaitu:

a. Sinar-X Karakteristik

Sinar-X yang dihasilkan akibat transisi elektron dari orbit tinggi ke orbit rendah dari atom anoda. Transisi elektron ini terjadi adanya kekosongan elektron setelah ditumbuk oleh elektron berkecepatan tinggi. Sinar ini disebut dengan sinar-X karakteristik. Sinar-X jenis ini banyak digunakan pada pengujian analisa bahan (Bushong, 2001).



Gambar2.2 Sinar-X karakteristik (Fosbinder, 2012)

Elektron yang mendekati atom di dalam anoda berinteraksi dengan elektron dalam atom tersebut, akibatnya elektron anoda terlepas dari kulitnya. Atom tertinggal dalam keadaan tereksitasi yang dalam keadaan tidak stabil. Maka terjadilah (dalam waktu 10^{-8} detik) pengisian kekosongan itu oleh elektron-elektron yang lebih luar. Perpindahan kulit yang luar ke kulit yang dalam disertai pancaran

radiasi dengan panjang gelombang tertentu, maka radiasi ini bersifat diskrit (Susanti, 2015).

Menurut Beizer (1987: 70-75) besar energi foton yang terpancar ketika elektron berpindah yaitu:

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (2.3)$$

dimana:

E_1 = energi kinetik pada kulit *hole*, eV

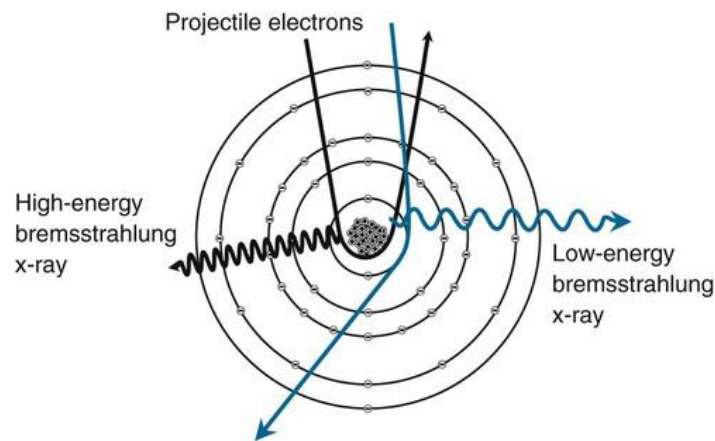
E_2 = energi kinetik pada kulit yang lebih tinggi, eV

h = konstanta Planck ($6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$)

ν = frekuensi foton sinar-X

b. Sinar-X *Bremsstrahlung*

Saat berkas elektron menumbuk target, sebagian besar energi elektron tersebut berubah menjadi panas, sebagian energi lainnya berubah untuk memproduksi sinar-X, namun ada pula kemungkinannya semua energi kinetik elektron tersebut diubah menjadi foton sinar-X, yang disebut sinar-X *bremsstrahlung* (Krane, 2011). Sinar-X *bremsstrahlung* mempunyai spektrum energi kontinyu.



Gambar 2.3 Sinar-X *bremsstrahlung* (Fosbinder, 2012)

Gambar 2.3 menunjukkan berkas elektron cepat mengalami perlambatan dalam medan magnet atom anoda sehingga mengeluarkan radiasi. Radiasi ini memiliki aneka ragam panjang gelombang, oleh karena itu proses *bremsstrahlung* dapat dialami elektron berulang kali. Pemanfaatan sinar-X di radiodiagnostik adalah sebagai penegak diagnosa suatu kelainan atau penyakit (Susanti, 2015).

Frekuensi maksimum sinar-X dapat dipancarkan oleh sinar-X *bremsstrahlung* dengan mempercepat elektron melalui tegangan keluaran (kV) pada target logam. Frekuensi maksimum diilustrasikan dengan Persamaan 2.10

$$v_{max} = \frac{eV}{h} \quad (2.4)$$

Sesuai dengan panjang gelombang minimum yaitu

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \quad (2.5)$$

dimana

h = konstanta Planck ($6,63 \cdot 10^{-34} J.s$)

e = muatan electron ($1,6 \cdot 10^{-19} C$)

c = 3×10^8

2.1.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi

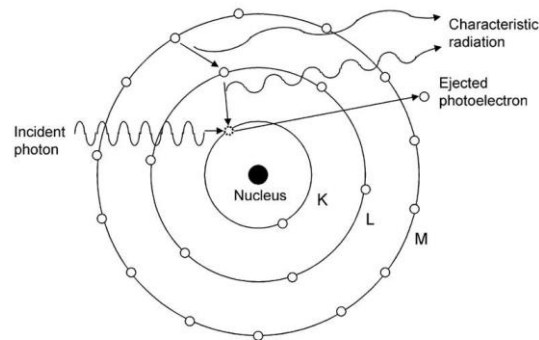
Ada tiga interaksi yang berperan penting terjadi pada interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan materi:

a) Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik merupakan efek yang didominasi oleh foton berenergi rendah ($< 0,1\text{MeV}$) (Rahma, 2016). Efek fotolistrik adalah interaksi yang paling penting diantara interaksi foton energi rendah dengan materi. Selama interaksi fotolistrik, tabrakan inelastis terjadi antara foton sinar-X dengan elektron yang mengorbit (elektron kulit bagian dalam). Foton melepaskan semua energinya dan karenanya menghilang (diserap oleh elektron). Elektron kemudian dikeluarkan dari atom dan terbang ke luar angkasa sebagai fotoelektron yang dapat mengalami interaksi lain dengan atom. Kekosongan yang tersisa segera diisi oleh elektron dari kulit terluar (Zahirah & Noor, 2013).

Efek fotolistrik terjadi ketika foton berenergi rendah datang menembus medium. Jika besar energi foton tersebut kurang dari energi ikat elektron, maka elektron tidak akan terlepas dari lintasannya. Namun, jika besar energi foton tersebut lebih besar dari energi ikat elektron, maka elektron tersebut akan berpindah ke lintasan yang lebih luar dengan memancarkan sinar-X karakteristik (Fosbinder, 2012). Elektron yang lepas dari lintasannya disebut *photoelectron*. Pada energi tinggi, efek

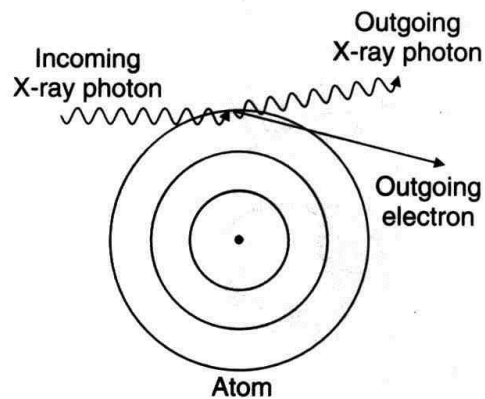
fotolistrik dominan terjadi pada material dengan nomor atom tinggi (Rahma, 2016). Dalam bidang radiodiagnostik, semakin besar jumlah absorpsi foton sinar-X dan perbedaan nomor atom objek maka semakin besar kontras radiograf (Rudi *et al.*, 2013).



Gambar 2.4 Proses efek fotolistrik (Noor, 2014).

b) Hamburan Compton

Hampir semua radiasi hamburan yang ditemui dalam radiologi diagnostik berasal dari hamburan Compton. Dalam interaksi ini, sebuah foton kejadian dari energi yang relatif tinggi menyerang elektron kulit terluar, dan mengeluarkannya dari orbitnya.



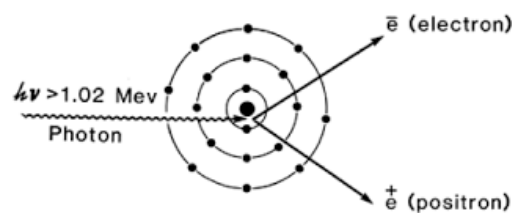
Gambar 2.5 Proses hamburan Compton (Rahma,2016)

Foton kemudian dibelokkan oleh elektron dan bergerak ke arah baru sebagai radiasi pencar dengan sebagian energi aslinya. Karena foton sinar-X yang tersebar memiliki lebih sedikit energi, ia memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dari pada foton sinar-X yang datang. Reaksi menghasilkan pasangan ion dari atom positif dan elektron keluar/recoil negatif (Zahirah & Noor, 2013).

Hamburan Compton merupakan hamburan lenting sempurna antara sebuah foton dan elektron bebas (dengan tenaga ikat lemah). Tumbukan antara foton dengan elektron bebas, sebagian tenaga foton diserap elektron. Foton dengan tenaga lebih rendah akan dihamburkan dengan sudut yang sama dengan elektron yang ditumbuk, elektron yang ditumbuk ini menyebabkan terjadinya ionisasi atom dalam bahan. Hamburan Compton banyak terjadi untuk tenaga foton antara 200 KeV –5 MeV (Fosbinder, 2012).

c) Produksi Pasangan

Proses lain yang terjadi ketika foton berenergi tinggi yaitu $>1,02$ MeV berinteraksi dengan atom adalah produksi pasangan (Beizer, 1987: 62). Produksi pasangan merupakan proses interaksi foton dengan inti, dan dalam interaksi ini menghasilkan dua partikel, yakni sebuah elektron dan positron. Pada proses ini foton menyerahkan semua tenaganya dan membentuk dua partikel elektron dan positron.



Gambar 2.6 Proses produksi pasangan (Rahma, 2016)

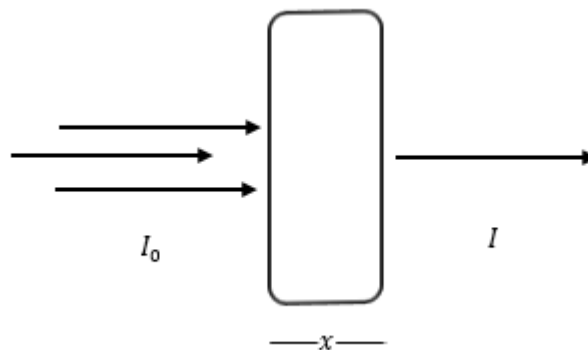
2.1.3. Koefisien Atenuasi

Menurut Sumarni dalam (Suwarno, 2015) Koefisien atenuasi (μ) adalah fraksi terkecil dari intensitas berkas foton yang hilang pada setiap satuan ketebalan material yang dilaluinya. Koefisien atenuasi juga dapat didefinisikan dengan kemampuan suatu bahan untuk menyerap sebuah radiasi yang datang. Jika ada radiasi yang datang pada suatu benda maka besar nilai intensitas radiasi yang masuk ke bahan dan nilai intensitas radiasi yang keluar dari bahan akan berbeda, ini disebabkan oleh sifat pelemahan (*attenuate*) dari bahan tersebut (Tantra, 2014).

Koefisien atenuasi bergantung pada jenis bahan radiasi dan energi dari radiasi elektromagnetik yang diserap bahan tersebut. Semakin tinggi nomor atom

bahan maka nilai μ akan semakin besar, sehingga semakin baik dipakai sebagai bahan perisai radiasi (Abidin, Alkrytania, & Indrajati, 2015). Ketika foton berinteraksi dengan materi sebagian energi foton dibawa elektron sebagai energi kinetik dan sebagian digunakan untuk melawan energi ikat atom atau berubah bentuk menjadi foton baru (Singh *et al.*, 2017). Semakin besar nomor atom dan densitas bahan maka interaksi foton dengan materi akan semakin besar dan jumlah foton yang lolos akan semakin kecil (Muharini & Rosita, 2017).

Mekanisme atenuasi ke dalam suatu bahan tergantung dari nomor atom, kerapatan bahan, ketebalan bahan, kekerasan bahan atau dapat dinyatakan dengan menggunakan hukum Beer-Lambert (Fidler *et al.*, 2018).



Gambar 2.7. Mekanisme Penyerapan Sinar-X

Jumlah foton primer yang lolos dari bahan akan berkurang secara eksponensial (Tekin, 2016).

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.6)$$

dimana :

I = Intensitas radiasi setelah melalui perisai

I_0 = Intensitas radiasi sebelum melalui

x = ketebalan perisai (m)

μ = koefisien atenuasi linier perisai

Koefisien atenuasi (μ) menguraikan pecahan suatu berkas cahaya sinar γ atau sinar-X yang diserap atau menyebar setiap ketebalan unit dari material penyerap. Koefisien atenuasi (μ) merupakan pengurangan intensitas radiasi setelah melalui bahan per satuan panjang (Muharini & Rosita, 2017), dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (2.7)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = \ln e^{-\mu x + c} \quad (2.8)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x + c \quad (2.9)$$

$$e^{\ln \frac{I}{I_0}} = e^{-\mu x} \cdot e^c \quad (2.10)$$

Karena e^c merupakan sebuah konstanta, sehingga persamaan 2.10 menjadi

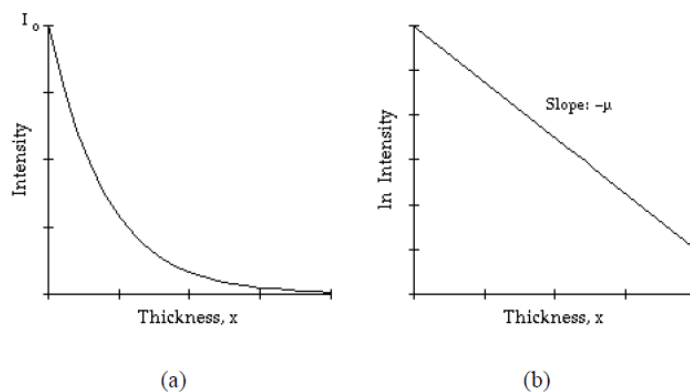
$$\ln \frac{I}{I_0} = A e^{-\mu x} \quad (2.11)$$

Untuk menjadikan $I=I_0$, maka nilai konstanta $A=1$ sehingga

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu x \quad (2.12)$$

2.1.3.1. Koefisien Atenuasi Linier

Koefisien atenuasi linier (μ) dari material dapat dievaluasi dari grafik linier $\ln(\frac{I}{I_0})$ dengan ketebalan (x) dari bahan penyerap, di mana (I_0) adalah intensitas sinar-X yang masuk atau sinar-X intensitas tanpa menyerap bahan, dan (I) adalah intensitas sinar-X setelah melewati bahan penyerap (Zahirah & Noor, 2013). Satuan untuk koefisien atenuasi disesuaikan dengan satuan x , apabila satuan untuk ketebalan bahan cm maka satuan untuk μ adalah cm^{-1} . Begitu pula jika x dalam mm maka μ memiliki satuan mm^{-1} .



Gambar 2.8 Hubungan Antara Ketebalan dan Intensitas Sinar-X (Fitler *et al.*, 2018)

Pada Gambar 2.8 menjelaskan hubungan interaksi radiasi dengan suatu material. Intensitas radiasi akan berkurang sesuai dengan tebal bahan penyerap (perisai radiasi) yang dapat dinyatakan dalam μ .

Karakteristik penyerapan akan meningkat atau berkurang jika energi dari sinar-X ditingkatkan atau dikurangi. Atenuasi yang berkaitan dengan interaksi radiasi bukanlah suatu proses sederhana. Interaksi tunggal sinar-X dan suatu partikel mengakibatkan satuan energi dalam cahaya diubah ke bentuk energi lain dan secara efektif akan menghilang (Fitler *et al.*, 2018).

2.1.4. Efek Radiasi Pada Tubuh Manusia

Radiasi yang mengenai tubuh manusia dapat menimbulkan kerugian. Efek radiasi dapat terjadi karena paparan akut yaitu paparan yang terjadi karena dosis paparan yang lebih besar dan paparan kronis yaitu paparan yang dapat terjadi karena dosis kecil yang terus menerus dikenakan secara menahun (Widyaningsih & Sutanto, 2013).

Berdasarkan jenis sel yang terkena paparan radiasi, efek radiasi dapat dibedakan atas efek genetik yaitu efek radiasi yang dirasakan oleh keturunan dari individu terpapar radiasi dan efek somatik yaitu efek radiasi yang dirasakan oleh individu terpapar radiasi itu sendiri. Waktu yang dibutuhkan sampai terlihatnya gejala efek somatik ini sangat bervariasi sehingga dikenal efek segera yang secara klinik sudah dapat teramati dalam hitungan hari/minggu dan efek tertunda yang baru timbul setelah waktu tunda yang lama setelah terpapar radiasi (Laitbu *et al.*, 2013).

Menurut Zubaedah dalam (Widyaningsih & Sutanto, 2013) ditinjau dari dosis radiasi (untuk kepentingan proteksi radiasi), efek radiasi dibedakan atas efek stokastik yaitu efek radiasi yang munculnya tidak memerlukan dosis ambang yang artinya dosis radiasi serendah apapun mempunyai kemungkinan untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologi dan efek deterministik yaitu efek radiasi yang timbul bila dosis yang diterima melebihi dosis ambang (*threshold dose*) dengan kualitas keparahannya bervariasi menurut dosis yang diterima dan hanya timbul bila dosis ambang dilampaui (Laitbu *et al.*, 2013).

2.2. Proteksi Radiasi

Proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Proteksi radiasi atau keselamatan radiasi berguna untuk menciptakan kondisi agar dosis radiasi yang mengenai manusia dan lingkungan hidup tidak melampaui nilai batas yang ditentukan (Sari, 2012). Mengingat radiasi pengion mempunyai potensi merugikan terhadap kesehatan, maka dalam penggunaan radiasi tersebut diperlukan langkah proteksi radiasi. Syarat yang harus dipenuhi agar kondisi lingkungan diluar ruangan menjadi aman bagi orang lain, ditetapkan sebesar 0,25 mRem/jam (Atmojo, 2011).

2.2.1. Proteksi Radiasi Eksternal

Pemeriksaan radiologidiagnostik telah menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan. Sejak ditemukannya sinar-X oleh Roentgen pada tahun 1895 dan kemudian diproduksi peralatan radiografi pertama untuk penggunaan diagnostik, prinsip dasar radiografi tidak mengalami perubahan, yaitu memproduksi suatu gambar pada film reseptor dengan sumber radiasi dari suatu berkas sinar-X yang mengalami absorpsi dan atenuasi ketika melalui berbagai organ atau bagian pada tubuh (Putra, 2012).

Dalam teknik proteksi radiasi eksternal tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh radiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Jenis sumber radiasi
2. Lama penyinaran

Dosis radiasi yang diterima oleh pekerja ataupun pasien di medan radiasi sebanding dengan waktu penyinaran radiasi tersebut. Semakin lama seseorang terpapar radiasi, semakin besar dosis radiasi yang diterimanya.

Arus tabung adalah arus yang menuju elemen pemanas menentukan jumlah elektron yang akan menumbuk target (anoda) sehingga berpengaruh pada intensitas radiasinya. Waktu menentukan lamanya penyinaran sehingga menentukan kuantitas sinar-X yang dihasilkan.

$$D = \dot{D} \cdot t \quad (2.13)$$

dengan :

D = Dosis akumulasi yang diterima pekerja (Sv)

\dot{D} = laju dosis radiasi (Sv/jam)

t = waktu penyinaran (s)

3. Jarak sumber radiasi dengan subyek

Paparan radiasi berkurang dengan semakin jauhnya jarak dari sumber radiasi. *Focus film distance* (FFD) merupakan jarak dari sumber sinar (fokus) ke image reseptor (film). FFD memberikan pengaruh terhadap intensitas sinar-X dan paparan radiasi yang mencapai permukaan kulit. FFD juga mempengaruhi dosis radiasi yang diterima pasien, semakin dekat FFD dengan objek maka radiasi yang diterima semakin banyak. Sedangkan jika FFD semakin jauh maka sedikit radiasi yang mengenai objek (Rahma, 2016).

$$\dot{D} = kx \frac{1}{r^2} \quad (2.14)$$

dengan :

\dot{D} = laju dosis radiasi (Sv/jam)

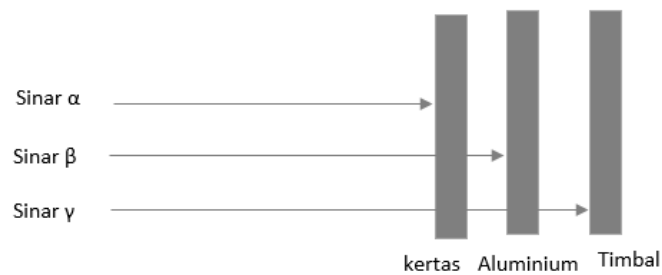
k = koefisien yang bergantung pada sumber radiasi

r = jarak antara objek dengan radiasi (m)

4. Perisai (penghalang)

2.2.2. Proteksi Radiasi sinar α , β , dan γ

Radioisotop merupakan suatu inti yang tidak stabil, secara spontan akan berubah menjadi inti atom lain yang lebih stabil dengan memancarkan energi radiasi. Radiasi yang dipancarkan tersebut dapat berupa partikel α , partikel β atau sinar- γ . Diantara ketiga radiasi yang dipancarkan tersebut sinar- γ memiliki energi paling tinggi, didefinisikan mulai dari 10 keV. Sehingga akan berbahaya jika radiasi sinar- γ terpapar secara langsung pada lingkungan makhluk hidup, khususnya pada manusia. Karakteristik dari radiasi sinar- γ membentuk spektrum elektromagnetik yang paparannya tidak dapat terlihat, sehingga diperlukan perisai untuk memproteksi radiasi agar tidak terpapar pada lingkungan (Gumilar *et al.*, 2016).



Gambar 2.9 Ilustrasi daya tembus partikel α , β , γ

2.2.3. Proteksi radiasi sinar-X

Persyaratan proteksi radiasi untuk ruangan radiologi ditentukan oleh jenis peralatan dan energi radiasi yang dipakai. Tebal dinding penahan radiasi primer adalah dinding dari bata plesteran dengan tebal 25 cm atau beton setebal 15 cm yang setara dengan Pb 2 mm. Untuk penahan radiasi hambur diperlukan dinding bata berplester dengan tebal 15 cm dan untuk pintu kayu termasuk kusennya harus dilapisi dengan Timbal setebal 2 mm, serta dilengkapi alat peringatan bahaya radiasi dan sistem pengaturan udara sesuai dengan kebutuhan (Tantra, 2014).

Faktor utama dalam desain perisai sinar-X adalah intensitas sinar, yang merupakan fungsi dari tegangan tabung. Timbal digunakan sebagai perisai radiasi sinar-X yang dihasilkan pada potensial bawah 300 kV. Karena timbal merupakan logam yang memiliki nomor massa yang tinggi sehingga ketika berinteraksi dengan radiasi seperti foton sinar-X timbal dapat menyerap energi dari foton tersebut (Rahma, 2016).

Menurut (Atmojo, 2011) timbal dapat digunakan sebagai bahan proteksi radiasi sinar-X dengan syarat berkas sinar-X yang keluar dari tabung pesawat sinar-X harus terkolimasi. Sehingga dalam dunia kesehatan ataupun industri timbal dengan berbagai ketebalan digunakan sebagai bahan proteksi radiasi selain depleted uranium (DU) dan tungsten atau wolfram (W) (Yuniarsari., Rozali., & Syawaludin., 2013). Biasanya timbal digunakan sebagai bahan tambahan keamanan di ruang radiologi.

2.3. Timbal

Peluruhan berantai unsur radioaktif meluruh melalui peluruhan α , peluruhan β dan peluruhan γ sehingga mendapatkan inti anak yang stabil sebagai produk akhirnya. Deret radioaktif alam meluruh dalam kisaran waktu 10^{10} tahun sedangkan deret radioaktif buatan meluruh dalam waktu sekitar 10^6 tahun. Deret uranium (${}^{238}_{92}\text{U}$) merupakan salah satu deret radioaktif alam dan berikut merupakan tahapan peluruhan radioaktif dari inti induk uranium ${}^{238}_{92}\text{U}$ dan berakhir pada inti anak timbal ${}^{206}_{82}\text{Pb}$.

Timbal adalah suatu unsur kimia yang terdapat pada golongan IV A dan periode keenam pada tabel periodik. Timbal memiliki koefisien serapan sebesar 1,3609 pada energi gamma 0,6 MeV (Harjanto, 2013). Salah satu bahan yang memiliki kemampuan baik dalam menyerap radiasi adalah timbal. Timbal merupakan materi dengan nomor atom yang tinggi yaitu 82, nomor massa 207, dan densitas yang besar yaitu $11,34 \text{ g/cm}^3$ sehingga baik untuk bahan perisai radiasi (Muharini & Rosita, 2017).

2.3.1. Timbal Oksida

Timbal memiliki koefisien serapan yang baik dan mudah didapat dipasaran dalam negeri dalam bentuk PbO (Timbal (II) Oksida). Timbal Oksida merupakan hasil utama yang terbentuk dalam proses memproduksi timbal, karena timbal yang ditemukan di alam tidak ditemukan bebas namun dalam bentuk biji galena (PbS) yang mengandung 86% timbal. Pada saat proses untuk memproduksi timbal murni, kandungan sulfide dalam biji timbal dihilangkan dengan cara memanaskan biji timbal sehingga dihasilkan timbal oksida (Abidin *et al.*, 2015).

2.4. Resin

Resin sering digunakan dalam berbagai bidang dan kebutuhan manusia. Resin dalam pembuatan komposit biasa disamakan dengan polimer. Suatu polimer dapat dibagi berdasar sifatnya yaitu termoplastik dan termoset. Termoplastik artinya polimer tersebut akan mengeras jika didinginkan dan meleleh jika dipanaskan. Termoset artinya proses pengerasan melalui reaksi kimia. Reaksi kimia yang

dimaksud adalah reaksi antara resin dan *hardener* yang dicampur dalam satu tempat. Resin akan mengeras karena telah bercampur dengan *hardener*. Resin yang telah mengalami pengerasan tidak akan bisa mencair kembali walaupun dilakukan pemanasan (Suwarno, 2015).

2.4.1. Resin Polyester

Resin polyester tak jenuh atau sering disebut polyester merupakan matrik dari komposit. Resin ini termasuk juga dalam resin termoset. Pada polimer termoset resin cair diubah menjadi padatan yang keras dan getas yang terbentuk oleh ikatan silang kimiawi yang membentuk rantai polimer yang kuat. Resin termoset tidak mencair karena pemanasan. Pada saat pencetakan, resin ini tidak perlu diberikan tekanan, karena ketika masih cair memiliki viskositas yang relatif rendah, mengeras dalam suhu kamar dengan penggunaan katalis tanpa menghasilkan gas (tidak seperti resin termoset lainnya). Pada umumnya resin polyester kuat terhadap asam kecuali asam pengoksida, tetapi memiliki ketahanan yang rendah terhadap basa. Secara luas polyester digunakan dalam bentuk bahan komposit.

Resin polyester merupakan resin yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi yang menggunakan resin termoset, baik secara terpisah maupun dalam bentuk material komposit. Resin Polyester seperti yang telah dijelaskan diatas memiliki banyak kelebihan sekaligus beberapa kelemahan, dalam aplikasi komposit resin polyester dalam hal ini polyester tidak jenuh, biasanya ditambahkan penguat (*reinforced*) berupa serat. Serat yang digunakan sebagai penguat adalah bisa berupa serat gelas, serat alam, serta carbon dan berbagai serat lainnya. Karena sifatnya yang polar, hampir semua jenis serat bisa dikombinasikan dengan resin polyester (Fitler et al., 2018).

Polyester-polyester tak jenuh termasuk diantara polimer paling umum yang dipakai bersama dengan penguatan serat gelas polyester tak jenuh dipreparasi dari monomer-monomer difungsional, salah satunya mengandung ikatan rangkap dua yang mampu menjalani polimerisasi adisi dalam suatu reaksi ikat – silang berangkai (T. Susanti, 2015).

Polyester merupakan suatu polimer yang terbentuk melalui reaksi kondensasi asam basa dengan alkohol dihidrat. Asam tak jenuh sebagai bagian dari asam di basa menghasilkan ikatan rantai tak jenuh dalam rantai utama polime, sehingga disebut polyester tak jenuh. Kemudian, monomer vinil dicampur, yang bereaksi dengan gugus tak jenuh pada pencetakan untuk mengeset. Sifat dari polyester sendiri adalah kaku dan rapuh (Susanti, 2015).

2.4.2. Resin polyester Yukalac C -108 B

Resin polyester Yukalac C -108B sebagai bahan matriks dengan sifat fisis densitas 1,215 g/cm³, titik leleh 170°C, serapan air 0,118% (24 jam), tensile strength 5,5 kg/mm², modulus elastisitas 300kg/mm² dan perpanjangan putus 1,6% (Fitler *et al.*, 2018).

Dalam resin ini, umumnya telah mengandung komposisi campuran antara resin polyester tak jenuh murni dan bahan pelarut stiren dengan nilai perbandingan sekitar 3:1. Selain itu ditambahkan katalis berupa *MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida)*, berfungsi sebagai zat curing, mempersingkat waktu curing dan meningkatkan ikatan silang polimernya.

2.4.3. Katalis

Katalis adalah suatu senyawa kimia yang menyebabkan reaksi menjadi lebih cepat untuk mencapai kesetimbangan tanpa mengalami perubahan kimia di akhir reaksi. Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: aktivitas, stabilitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekanik. Secara umum katalis mempunyai dua fungsi yaitu mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas dan meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas (Fitler *et al.*, 2018).

2.5. Surveymeter

Salah satu instrumen yang dibutuhkan dalam sistem proteksi radiasi adalah *Surveymeter* yang berfungsi untuk memonitor laju paparan radiasi dari suatu lokasi yang diperkirakan ada benda atau zat yang mengandung radioaktif. Zat radioaktif didefinisikan sebagai zat yang mengandung inti atom tidak stabil atau setiap zat

yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar dari 70kBq/kg. *Surveymeter* digunakan untuk mengukur tingkat radiasi dan biasanya memberikan data hasil pengukuran dalam laju dosis (dosis radiasi per satuan waktu), misal dalam mrem/jam atau $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. *Surveymeter* terdiri dari detektor dan peralatan penunjang elektronik lainnya (Hasnawati, 2016).

Surveymeter merupakan alat untuk memberikan informasi laju dosis radiasi. Sebagaimana fungsinya, suatu *surveymeter* harus bersifat portable meskipun tidak perlu sekecil sebuah dosimeter personal. Konstruksi *surveymeter* terdiri atas detektor dan peralatan penunjang. Cara pengukuran yang diterapkan adalah cara arus (*current mode*) sehingga nilai yang ditampilkan merupakan nilai intensitas radiasi. Secara elektronik, nilai intensitas tersebut dikonversikan menjadi skala dosis, misalnya dengan satuan Sv/jam (Rahma, 2016).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jurusan Fisika Universitas negeri Semarang. Proses eksposi sinar-X dilakukan di Laboratorium Fisika Medik Universitas Negeri Semarang yang terletak di lantai 3 gedung D9 Lab. Fisika Universitas Negeri Semarang. Waktu penelitian pada bulan Januari-Maret 2020.

3.2 Alat dan bahan

Pada penelitian ini menggunakan timbal (Pb) bekas aki sepeda motor yang didopping resin Yukalac C 108 B dengan ukuran 10x10 cm dan ketebalan bervariasi. Alat-alat yang digunakan meliputi pesawat sinar-X Mednif SF- 100BY, surveymeter analog, penggaris, tripod, kamera HP, dan sistem radiografi digital yang ada di Laboratorium Fisika Medik Universitas Negeri Semarang.

3.3 Metode Penelitian

3.3.1 Proses Penelitian

1. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen langsung dengan membuat proteksi radiasi berbahan polyester yang di *dopping* timbal bekas aki sepeda motor dengan eksposi sinar-X terhadap plat polyester timbal dan mengukur laju dosis radiasi setelah melewati plat polyester timbal. Selain itu juga melakukan analisis citra hasil radiograf dari plat polyester timbal
2. Objek penelitian adalah plat polyester timbal dengan variasi konsentrasi timbal dan variasi ketebalan plat polyester timbal.
3. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Variabel bebas :
 1. Komposisi massa antara resin dengan timbal (%)
 2. Ketebalan plat polyester timbal (cm)
 - b. Variabel Terikat :
 1. Laju dosis serap radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)

2. $\log \frac{I_0}{I}$ citra plat polyester timbal
 3. $\ln \frac{I}{I_0}$ citra plat polyester timbal
- c. Variabel kendali :
1. Pesawat sinar-X Mednif SF-100BY Laboratorium Fisika Medik Unnes
 2. Nilai arus listrik (mA)
 3. Waktu Penyinaran (s)
 4. Tegangan (kV)
 5. Jarak antara kolimator dengan sampel
 6. Lebar penyinaran (kolimasi)

3.3.2 Proses pembuatan serbuk timbal dari komponen aki sepeda motor

Berikut langkah pembuatan serbuk timbal dari komponen aki sepeda motor

- a. Membuka bagian tutup aki
- b. Memisahkan elemen elemen yang ada di dalam aki
- c. Menumbuk elemen aki yang berbentuk lembaran berwarna abu abu
- d. Mengayak hasil tumbukan tersebut sehingga didapatkan serbuk timbal dengan ukuran yang sama

3.3.3 Membuat Plat Polyester Timbal

Berikut langkah langkah pembuatan plat polyester timbal:

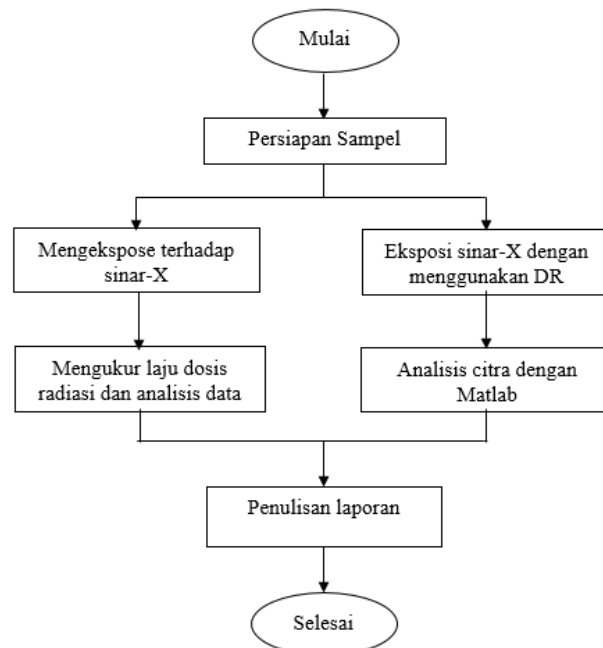
- e. Pembuatan cetakan terbuat dari lembaran mika yang di bentuk kubus dengan ukuran 10 x10 cm sebanyak enam buah dengan masing masing cetakan lembaran mika dengan variasi ketebalan yaitu 5, 10, 15, 20, 25, 30 mm.
- f. Pembuatan komposit polyester timbal dengan perbandingan polyester resin dengan timbal seperti dalam Tabel. 3.1

Tabel 3.1 Variasi komposisi bahan

No	Sampel	Resin (%)	Timbal (%)
1	A	90	10
2	B	80	20
3	C	70	30
4	D	60	40
5	E	50	50
6	F	40	60

- g. Mencetak pada cetakan mika lalu menunggu hingga kering

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1. Skema penelitian

3.4.1 Pengukuran Laju Dosis Radiasi

Penelitian pertama yaitu proses eksposi sampel terhadap sinar-X dilakukan pada bulan Februari-Maret 2020 di Laboratorium Fisika Medik Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang. Proses eksposi sampel terhadap sinar-X dilakukan untuk mengukur laju dosis serap radiasi, hal ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan sampel (timbangan bekas aki sepeda motor) sebagai bahan proteksi radiasi sinar-X. Menurut Atmojo dalam (Rahma, 2016) dengan mengukur laju dosis serap radiasi sinar-X dapat diketahui dosis serap dari bahan tersebut. Pada penelitian menggunakan pesawat sinar-X merk/type Mednif/SF-100BY dan *surveymeter* analog sebagai alat ukur laju dosisnya. Untuk mengetahui laju dosis radiasi dengan *surveymeter* analog harus dilakukan perekaman, karena *surveymeter* analog akan kembali menunjuk titik 0 setelah radiasinya hilang. Sehingga dalam penelitian ini menggunakan kamera HandPhone sebagai media untuk merekam hasil pembacaan *surveymeter* analog.

Pada penelitian digunakan jarak antar focus sinar-X dengan sampel sebesar 100 cm. Pemilihan jarak tersebut dilakukan karena dalam pengukuran radiasi sinar-

X memiliki jarak minimal. Dan jarak antarasampel dengan detektor (surveymeter) sebesar 5 cm. Jarak tersebut digunakan agar laju dosis yang terbaca surveymeter merupakan laju dosis tertinggi setelah melewati bahan penyerap radiasi. Faktor eksposi yang digunakan yaitu faktor eksposi sinar-X sebesar 70kV; arus listrik sebesar 32 mA; dan waktu eksposi sebesar 0,2 s.

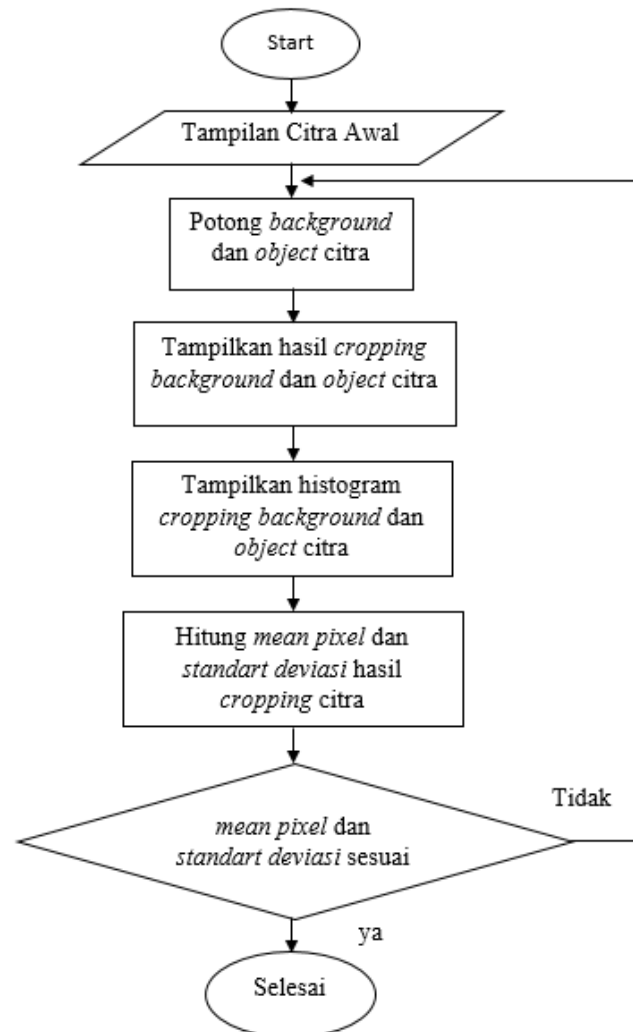
3.4.2 Analisis Citra Radiograf

Penelitian kedua yaitu proses eksposi plat polyester timbal bekas aki sepeda motor untuk mengetahui citra hasil radiograf. dalam proses ini digunakan pula sistem *Digital Radiography* (DR) untuk menangkap citra hasil radiografinya. Sistem DR yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem DR modifikasi yang terdiri dari kamera EOS 60D dengan ISO 25600 untuk menghasilkan citra digital. Kamera diletakkan pada tabung kedap cahaya dan pada bagian depan kamera diberi kaca timbal yang berfungsi untuk melindungi dari radiasi sinar-X. Pada bagian depan tabung diletakkan *intensifying screen* sebagai pengubah sinar-X menjadi cahaya tampak.

Hasil citra radiograf tersebut dianalisis nilai Grey Level (GL) dengan menggunakan aplikasi GUI pada software MATLAB untuk mengetahui transmitansi dari citra radiograf tersebut. Analisis hasil citra plat polyester timbal yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui timbal sebagai bahan proteksi radiasi dengan melihat nilai transansi citra radiograf. Dengan menggunakan perangkat lunak berbasis MATLAB hasil rekayasa, citra radiograf digital dengan jenis image *.BMP atau *.JPG tersebut diamati, kemudian dipilih dengan mengambil sebagian (crop) bagian-bagian tertentu pada Region Of Interest (ROI) tanpa obyek. ROI yang telah dipilih dan secara visual dapat dibedakan secara kualitatif dari gelap sampai terang tersebut kemudian oleh perangkat lunak yang sama bisa diubah menjadi angka-angka tingkat keabuan GL dari 0-255, yaitu dari warna gelap sampai putih (Susilo, 2013).

Dalam penelitian ini menggunakan duapuluh empat plat polyester timbal dengan empat variasi komposisi bahan dan enam variasi ketebalan. Variasi komposisi bahan dan ketebalan dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai

tingkat keabuan (GL) dari masing-masing plat polyester timbal tersebut. Kemudian sampel dipotret menggunakan sistem Digital Radiography (DR). Dalam penelitian digunakan faktor eksposi besar tegangan 70 kV; arus listrik 16mA; dan waktu eksposi 0,2 s. Tahapan analisis GL seperti Gambar 3.2 berikut :



Gambar 3.2. Algoritma Penghitungan Grey Level Citra Dengan GUI

Tampilan GUI seperti Gambar 3.3



Gambar 3.3. Tampilan GUI Matlab

Tampilan GUI terdiri dari empat perintah utama yaitu:

1. Tampilan *Load Citra*
Tombol ini berisi perintah untuk memanggil dan menampilkan citra yang akan diuji pada axes 1
2. Tombol *Crop Background*
Tombol yang digunakan untuk memotong sebagian kecil background kemudian citra hasil pemotongan akan ditampilkan pada bagian axes2, hasil histogram pada axes 3, nilai *mean background* dan *standart deviation* akan ditampilkan.
3. Tombol *crop step*
Tombol yang digunakan untuk memotong sebagian kecil citra foreground kemudian citra hasil pemotongan dan histogramnya akan ditampilkan pada bagian axes masing-masing step. Nilai *mean step* dan *standart deviation* akan ditampilkan.

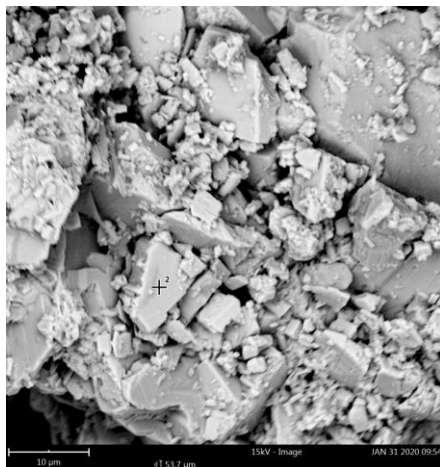
BAB IV PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Sampel

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis material bahan penyusun aki sepeda motor. Di dalam bahan aki sepeda motor terdapat material penyusun dari timbal yang dibuktikan dengan pengujian menggunakan analisis SEM-EDX (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy). Pengambilan data dilakukan pada 4 titik spot dan menunjukkan adanya timbal oksida (PbO_2).

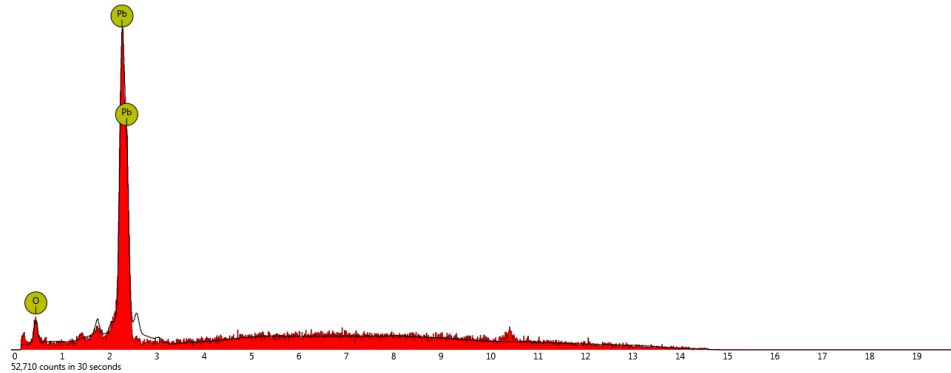
SEM digunakan sebagai pengamatan struktur nano untuk melihat ukuran serbuk dan morfologinya. SEM yang digunakan pada penelitian ini adalah SEM yang ada di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang. Dalam SEM, juga ada Energy Dispersive X-ray (EDX) yaitu metode yang paling umum untuk menentukan komposisi bahan kimia (Junio *et al.*, 2017).

SEM-EDX adalah metoda spektroskopi sebaran tenaga sinar-X yang dihubungkan dengan mikroskop elektron. Dengan metode ini dapat diamati struktur mikro dari penumbuhan yang terbentuk sekaligus dapat diamati hasil analisis komposisi yang terkandung secara kualitatif dan kuantitatif dengan faktor kesalahan sampai 10% dan dengan metode ini perlakuannya sederhana, tidak memerlukan penipisan dan tidak merusak.



Gambar 4.1 a. Hasil uji SEM

Element Symbol	Atomic Conc.	Weight Conc.	Oxide Symbol	Stoich. wt Conc.
Pb	62.35	95.54	PbO_2	100.00
O	37.65	4.46		



Gambar 4.1 b. Hasil uji EDX

Pada Gambar 4.1 menunjukkan bahwa dalam aki bekas sepeda motor terdapat kandungan timbal sebesar 95,5% dan sisanya terdapat kandungan carbon, oksida, natrium, zinc, dan masih banyak unsur lainnya yang, akan tetapi dengan jumlah yang sangat sedikit.

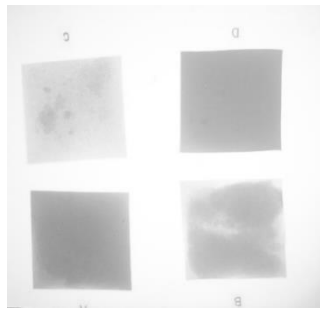
Dari hasil pengujian tersebut dihasilkan material PbO dari aki bekas sepeda motor yang kemudian digunakan untuk membuat komposit bahan perisai radiasi dengan campuran polyester resin yukalac C 108 b. Pembuatan sampel dilakukan membuat enam macam sampel dengan masing masing variasi yang dicetak dalam bentuk plat berbahan mika. Sampel A dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 10% : 90 %, sampel B dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 20% : 80 %, sampel C dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 30% : 70 %, sampel D dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 40% : 60 %, sampel E dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 50% : 50 %, %, sampel F dengan perbandingan PbO dengan resin yukalac c 108 b 60% : 40 %.

Tabel 4.1 Tabel Pengamatan Awal sampel

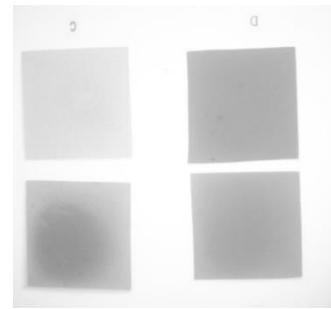
Sampel	Homogen	Lepas dari cetakan
A	Tidak	Lepas
B	Tidak	Lepas
C	Tidak	Lepas
D	Tidak	Lepas
E	Homogen	Tidak
F	Homogen	Tidak

Hasil pengamatan awal sampel dengan variasi konsentrasi terlihat pada Tabel 4.1 yang menunjukkan resin tidak mampu mengikat material dengan komposisi material sampai dengan 50% dari volume resin. Sampel E dan F memiliki warna

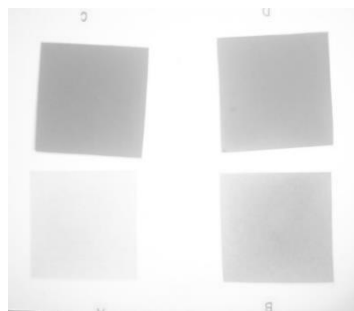
pekat yang menyeluruh, Sedangkan sampel A, B, C, dan D memiliki warna yang lebih pekat dibagian bawah sampel dikarenakan timbal turun kebawah selama proses pengerasan. Menurut (Yulianti *et al.*, 2019) komposit polyester timbal tidak dipanaskan pada saat proses pencampuran polyester dengan timbal.



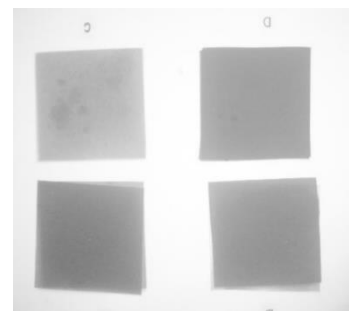
Gambar 4.2a. Hasil Citra Radiograf
0,5 cm



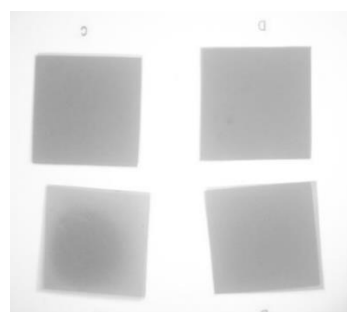
Gambar 4.2b. Hasil Citra Radiograf
1 cm



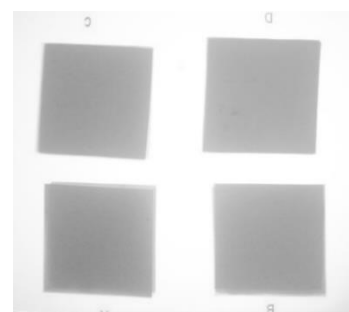
Gambar 4.2c. Hasil Citra Radiograf
1,5 cm



Gambar 4.2d. Hasil Citra Radiograf
2 cm



Gambar 4.2e. Hasil Citra Radiograf
2,5 cm



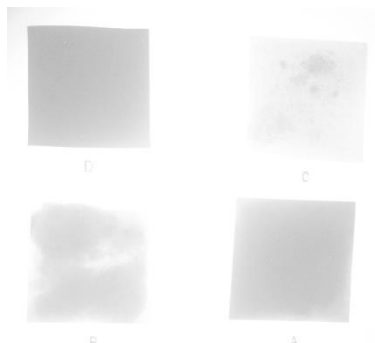
Gambar 4.2f. Hasil Citra Radiograf
3 cm

Hal tersebut menyebabkan proses pengerasan pun melambat sehingga mengakibatkan timbal turun kebawah sedangkan polyester resin belum mengikat timbal secara kuat dikarenakan densitas timbal yang jauh lebih besar dibandingkan densitas polyester resin.

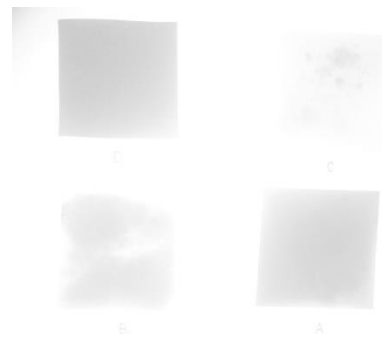
Berdasarkan data diatas, sampel yang digunakan pada pengujian selanjutnya yaitu sampel A, B, C dan D dikarenakan sampel E dan sampel F tidak bisa digunakan. Sampel A, B, C, D dilanjutkan dengan dilakukan ekspose sinar-X terhadap sampel dengan faktor eksposi besar tegangan 70 kV, arus listrik 16 mA, dan waktu eksposi 0.2 s. Ekspose tersebut dilakukan pada masing masing sampel di tiap variasinya. Dari hasil ekspose sinar-X tersebut dihasilkan citra gambar radiograf pada Gambar 4.2 a-f.

Proses eksposi sampel terhadap sinar-X dilakukan untuk mengukur laju dosis radiasi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan sampel (plat polyester timbal bekas aki sepeda motor) sebagai bahan proteksi radiasi sinar-X. Pengukuran laju dosis radiasi sinar-X dapat digunakan untuk menentukan laju dosis serap plat polyester timbal bekas terhadap sinar-X.

Selain itu juga dilakukan pengambilan data dengan menggunakan tegangan sinar-X 75kV, 16 mA, 0.2s dan 80kV, 16 mA, 0.2s sehingga didapatkan hasil citra pada Gambar 4.3 dan 4.4:



Gambar 4.3 Hasil Citra Radiograf
75 kV



Gambar 4.4 Hasil citra Radiograf
80 kV

4.2 Analisis Menggunakan Surveymeter

Setelah didapatkan hasil citra radiograf dilanjutkan pengujian sampel dengan menggunakan surveymeter untuk mengetahui laju dosis serap plat polyester timbal tersebut. Menurut Wiryosimin dalam (Rahma, 2016) sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik atau sering disebut dengan foton. Ketika berinteraksi maka foton akan musnah, dan sebagian energi foton dibawa oleh elektron sebagai energi kinetik. Sebagian energi lainnya untuk melawan energi ikat atom atau berubah

menjadi foton baru atau foton hambur. Foton primer ketika melewati bahan energinya akan berkurang secara eksponensial terhadap bertambahnya ketebalan dan komposisi bahan tersebut. Pengurangan tersebut juga dipengaruhi oleh koefisien atenuasi dari bahan penyerap.

Laju dosis serap radiasi dari ketebalan sampel yang berbeda dapat dilihat pada hasil rekam *surveymeter* yang dilakukan saat penelitian. Sehingga dapat mengetahui pengaruh ketebalan sampel terhadap laju dosis serap radiasi sinar-X. Dapat pula diketahui pengaruh komposisi bahan terhadap dosis serap radiasi sinar-X. Pengaruh ketebalan sampel dan komposisi bahan terhadap laju dosis serap radiasi ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Laju dosis radiasi sinar-X berbanding lurus dengan intensitas radiasinya (Rahma, 2016), sehingga Persamaan 2.6 ($I = I_0$) menjadi :

$$\dot{D} = \dot{D}_0 e^{-\mu x} \quad (4.1)$$

dengan :

\dot{D}_0 = laju dosis tanpa melalui perisai (Sv/jam)

\dot{D} = laju dosis setelah melalui perisai (Sv/jam)

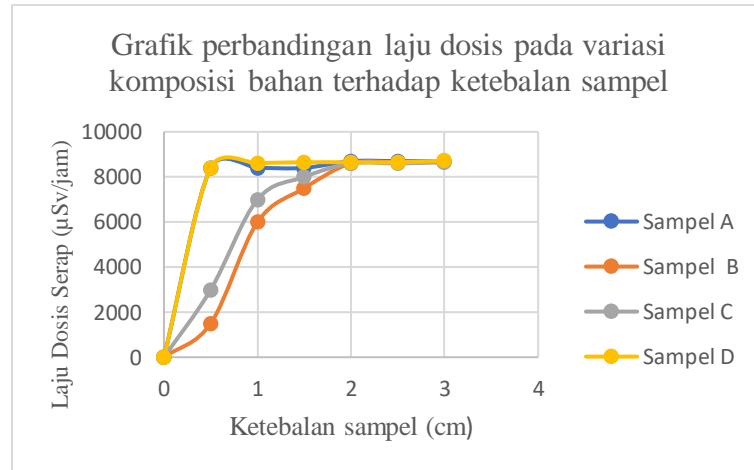
μ = koefisien atenuasi linier bahan (m^{-1})

x = ketebalan bahan (m)

Pengujian dilakukan dengan ekspose sinar-X dengan faktor eksposi 70kV; 32mA; 0.25 s dan menggunakan *surveymeter* untuk mengetahui laju dosis yang melalui sampel (dosis sisa). Dosis menggunakan *surveymeter* menghasilkan laju dosis awal sebesar 9000 μ Sv/Jam dan didapatkan hasil laju dosis serap pada Gambar 4.10.

Selain itu, laju dosis serap radiasi akan bertambah secara eksponensial terhadap bertambahnya konsentrasi timbal yang di dopping pada plat polyester sebagai bahan penyerap (Aminian., Bakhshandeh., Allahbakhshian-farsani., Bakhshandeh., & Shakeri., 2017). Namun, hasil penelitian tidak menunjukkan hal tersebut, karena gambar 4.5 menunjukkan bahwa dosis serap bertambah secara drastis setelah melewati bahan penyerap dengan ketebalan 0,5 cm pada komposisi variasi timbal 10% dan resin 90%; serta komposisi timbal 40% dan resin 60%. Hal tersebut dikarenakan penyebaran timbal yang kurang merata pada sampel plat polyester

timbangan, dikarenakan penumpukan timbal dibagian bawah sampel sehingga sampel tidak bisa homogen.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan Laju dosis serap terhadap sampel

Dari hasil surveymeter menunjukkan semakin tebal sampel dan juga semakin besar konsentrasi timbal menunjukkan peningkatan laju dosis serap polyester sehingga dosis yang melewati bahan penyerap cenderung berkurang. Hal itu juga dapat dilihat pada hasil citra radiograf yang menunjukkan semakin besar dosis serap sampel akan semakin gelap begitu juga sebaliknya.

Tegangan (kV), arus listrik tabung (mA), waktu eksposi (s), faktor jarak (m), mempengaruhi sinar-X. Semakin besar energi yang digunakan, semakin besar pula dosis yang melewati bahan penyerap. Besarnya tegangan tabung sinar-X mempengaruhi besar energi sinar-X. Semakin tinggi tegangan yang digunakan maka energi sinar-X yang dihasilkan semakin besar. Tegangan tabung sinar-X juga dapat berpengaruh terhadap daya tembus sinar-X yang dihasilkan sehingga berpengaruh terhadap kualitas citra radiograf (kontras) yang dihasilkan. Nilai tegangan akan mempengaruhi kualitas sinar-X karena perubahannya mempengaruhi panjang gelombang yang dihasilkan. Panjang gelombang sinar-X berbanding terbalik dengan tegangan tabung sinar-X. Semakin tinggi nilai tegangan tabung maka panjang gelombangnya semakin rendah.

$$c = \lambda f \quad (4.2)$$

$$f_{max} = \frac{c}{\lambda_{min}} \quad \text{atau} \quad \lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} \quad (4.3)$$

Persamaan 4.2 menunjukkan frekuensi berbanding terbalik dengan panjang gelombangnya, sehingga ketika frekuensi tinggi maka panjang gelombang rendah

$$E_k = hf - Q = h \frac{c}{\lambda} - Q \quad (4.4)$$

Dapat diketahui bahwa produksi elektron (e) dan beda potensial (V) sebanding dengan energi kinetik E_k (Meredith, 1997), maka persamaan 4.3 menjadi

$$E_k = eV \quad (4.5)$$

$$eV = hf - Q = h \frac{c}{\lambda} - Q \quad (4.6)$$

Sehingga panjang gelombang yang terkait,

$$\lambda = \frac{hc}{eV - Q} \quad (4.7)$$

4.3 Analisis Citra dengan software Matlab

Kualitas citra radiograf dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor eksposi yang terdiri dari tegangan tabung (kV), arus tabung (mA), dan waktu penyinaran (s). Pengaturan faktor eksposi yang tepat dapat menghasilkan kontras radiograf yang optimal yaitu mampu menunjukkan perbedaan derajat kehitaman yang jelas antar organ yang mempunyai kerapatan berbeda (Susilo, Rahma, Mosik, & Masturi, 2017). Penelitian menggunakan duapuluh empat plat polyester timbal yang terdiri dari empat variasi konsentrasi timbal yang di *dopping* pada plat polyester dan masing-masing memiliki ketebalan yang berbeda. Kemudian sampel dipotret menggunakan sistem Digital Radiography yang ada di Laboratorium Fisika Medik Universitas Negeri Semarang. Faktor eksposi yang digunakan dalam penelitian yaitu tegangan tabung 70kV; arus listrik sebesar 16 mA; dan waktu eksposi 0,2 s.

Secara kasat mata tidak terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil citra, sehingga perlu dilakukan analisis dengan software MATLAB untuk mengetahui tingkat keabuan dari citra radiograf (Savitri *et al.*, 2014). Setelah dilakukan analisis dengan software MATLAB tingkat keabuan dari masing-masing step dapat terlihat perbedaannya.

Untuk memperoleh hubungan densitas optik dan transmisi sinar-X dengan ketebalan persamaan 2.6 dapat diubah sebagai berikut

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x} \quad (4.8)$$

Densitas optis (DO) atau kerapatan citra menjelaskan tingkat kegelapan atau penghitaman citra sinar-X. DO adalah logaritma dari rasio intensitas cahaya yang masuk pada film terhadap intensitas cahaya yang diteruskan melalui film. Secara matematis DO dinyatakan sebagai:

$$DO = \text{Log} \frac{I}{I_0} \quad (4.9)$$

Dengan I_0 adalah intensitas cahaya yang masuk dan I adalah intensitas cahaya yang diteruskan (Susilo, 2014). Densitas Citra radiograf yang dihasilkan pada dasarnya adalah pemetakan sinar-X ketika melewati bahan seperti pada persamaan 4.8. Dengan analisis berbasis Matlab, persamaan diubah dengan menggunakan GL sebagai berikut

$$GL = GL_0 e^{-\mu x} \quad (4.10)$$

Dengan GL_0 adalah GL nilai pada background, GL nilai GL pada objek, μ adalah nilai koefisien atenuasi bahan (cm^{-1}) dan x tebal bahan (cm). Dengan cara yang sama, pengukuran DO dapat dilakukan dari persamaan 4.9, sehingga nilai DO menggunakan gray level (GL) sebagai berikut

$$DO = \log \frac{GL_0}{GL} \quad (4.11)$$

. Variasi konsentrasi timbal, ketebalan sampel, dan *grey level* citra dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai *Grey Level* Citra Plat Polyester Timbal

Ketebalan	Sampel A		Sampel B		Sampel C		Sampel D	
	I_0	I	I_0	I	I_0	I	I_0	I
0,5	252,977	231,978	253,66	216,95	252,494	208,966	247,52	198,74
1	240,978	218,121	254,191	217,068	255	209,799	255	201,083
1,5	254,972	222,045	255	213,567	248,143	203,397	255	194,776
2	253,349	204,241	235,211	187,405	237,384	184,724	251,263	181,766
2,5	248,343	192,536	255	188,485	245,27	174,53	254,935	177,095
3	252,357	184,174	242,135	169,828	246,258	166,214	252,192	170,092

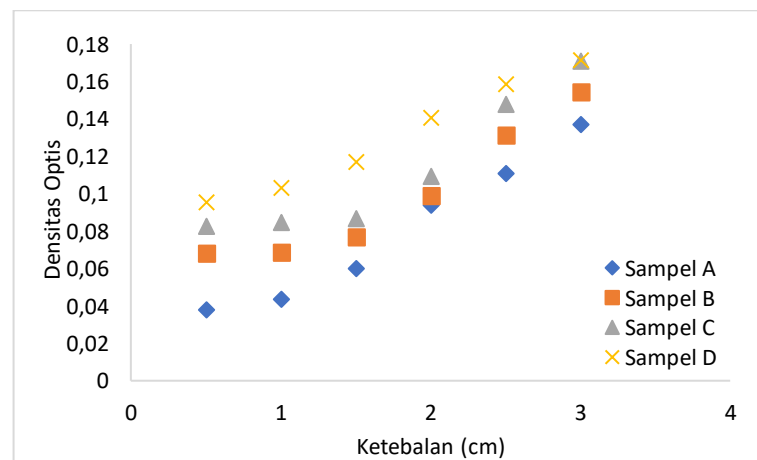
Tingkat keabuan citra sebanding dengan intensitas berkas sinar-X, sehingga dengan menggunakan nilai tingkat keabuan dari 0-255 dapat digunakan untuk menentukan intensitas sinar I_0 dan I (Susilo, 2013). Setelah dianalisis dengan

software MATLAB untuk mengetahui tingkat keabuan dari citra radiograf dapat terlihat perbedaannya. Tabel 4.3 yang menunjukkan nilai $\log \frac{GL_0}{GL}$ semakin bertambah seiring dengan pertambahan konsentrasi timbal yang di *dopping* pada plat polyester.

Nilai $\log \frac{GL_0}{GL}$ serupa dengan nilai densitas optik yang merupakan tingkat kehitaman pada sampel (Yulianti *et al.*, 2019).

Tabel 4.3 Nilai $\log \frac{GL_0}{GL}$ citra plat polyester timbal

Ketebalan (cm)	Densitas Optis(DO)			
	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
0,5	0,037634	0,067892	0,082175	0,095325
1	0,04328	0,068564	0,084737	0,103165
1,5	0,060051	0,077006	0,086357	0,117005
2	0,093576	0,098676	0,108928	0,140616
2,5	0,11054	0,131263	0,147774	0,158223
3	0,136787	0,154048	0,170723	0,171047



Gambar 4.6. Grafik hubungan $\log \frac{GL_0}{GL}$ terhadap ketebalan plat polyester timbal dengan variasi konsentrasi timbal

Dari gambar 4.6 semakin bertambahnya ketebalan dan konsentrasi timbal menunjukkan kenaikan nilai densitas optiknya.

Gambar 4.6 menunjukkan semakin banyak konsentrasi timbal yang di *dopping* pada polyester dan semakin tebal plat polyester menunjukkan semakin besar nilai densitas optiknya. Menurut Bushong (2001) semakin besar densitas optik maka

semakin besar pula kontras citra, sehingga dapat disimpulkan bahwa citra dengan tingkat keabuan sampel yang tinggi memiliki densitas optik yang tinggi.

Menurut (Susanti, 2015), pengukuran nilai transmitansi sinar-X menggunakan *Grey Level* (GL) dapat dilakukan seperti pada penentuan nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ dengan intensitas sinar-X I dan I_0 , sehingga nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ dapat diukur menggunakan GL.

$$\ln \frac{GL}{GL_0} = -\mu x \quad (4.12)$$

Dengan GL_0 adalah nilai *grey level* pada radiograf sebelum melalui obyek serta nilai GL nilai *grey level* setelah melalui obyek.

Tabel 4.4 Nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ citra plat polyester timbal

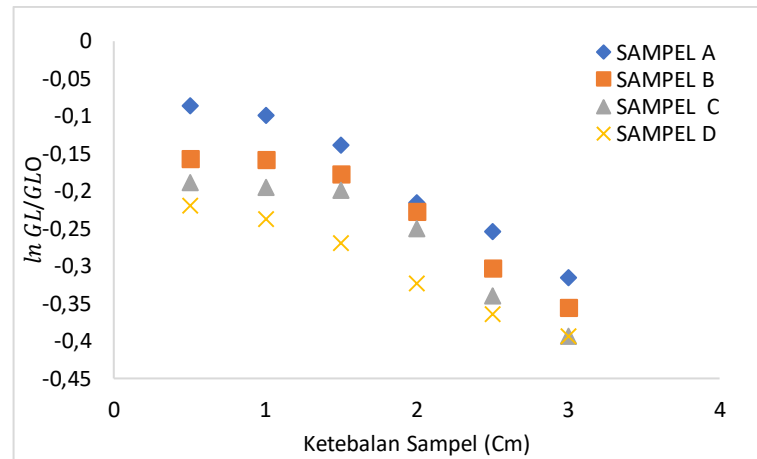
Ketebalan (cm)	Ln I/I ₀			
	Sampel A	Sampel B	Sampel C	Sampel D
0,5	-0,08666	-0,15633	-0,18922	-0,21949
1	-0,09966	-0,15788	-0,19511	-0,23755
1,5	-0,13827	-0,17731	-0,19885	-0,26941
2	-0,21547	-0,22721	-0,25082	-0,32378
2,5	-0,25453	-0,30225	-0,34026	-0,36432
3	-0,31496	-0,35471	-0,3931	-0,39385

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ menurun terhadap bertambahnya ketebalan dan konsentrasi timbal. Dengan berkurangnya nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ menunjukkan terdapat perbedaan tingkat keabuan tiap masing-masing sampel.

Seiring bertambahnya ketebalan dan konsentrasi timbal maka sinar-X yang di transmisikan oleh sampel semakin sedikit begitu pun sebaliknya, ketika ketebalan dan konsentrasi timbal menurun maka sinar-X yang ditransmisikan sampel semakin banyak. Hal ini sebanding dengan intensitas radiasinya. Intensitas radiasi akan berkurang terhadap bertambahnya konsentrasi timbal pada bahan penyerap. Dapat disimpulkan bahwa timbal bekas aki sepeda motor berhasil menyerap sinar-X yang datang.

Gambar 4.7 dapat dilihat semakin banyak kandungan timbal dalam sampel mengakibatkan semakin kecil nilai transmitansinya ($\ln \frac{I}{I_0}$) yang dimilikinya.

Menurut (Suyatno, 2011) besarnya penyerapan oleh bahan tergantung dari panjang gelombang sinar-x, susunan objek, ketebalan, dan kerapatan bahan.



Gambar 4.7 Grafik hubungan $\ln \frac{GL}{GL_0}$ terhadap ketebalan plat polyester timbal dengan variasi konsentrasi timbal

Gambar 4.7 yang menggambarkan semakin banyak kandungan timbal dalam sampel maka semakin berkurang nilai transmitansinya, menunjukkan bahwa susunan kerapatan partikel di dalam objek akan mempengaruhi penyerapan sinar-X. Selain susunan kerapatan partikel di dalam objek, penyerapan sinar-X juga tergantung dari nomor atom unsur yang disinari sinar-X. Semakin besar nomor atom bahan, makin besar pula penyerapannya (AbuAlRoos *et al.*, 2019). Jadi semakin besar nomor atom sebuah unsur maka semakin baik pula unsur tersebut menyerap sinar-x yang mengenainya. Pada penelitian ini digunakan timbal sebagai *filler*, karena timbal memiliki nomor atom yang cukup besar. Logam timbal merupakan logam yang tahan korosi, sehingga dalam keadaan bekas densitasnya masih tinggi, dan mampu menyerap energi radiasi. Kerapatan bahan juga berpengaruh dalam penyerapan sinar-x. Semakin rapat suatu bahan maka sinar-x yang terserap akan semakin banyak walaupun dengan bahan yang sama. Itulah mengapa dalam penelitian ini semakin banyak kandungan timbal dalam sampel, penyerapan sinar-X akan semakin besar.

Pengukuran nilai koefisien atenuasi linier (μ) menggunakan *grey level* (GL) dapat dilakukan seperti pada penentuan nilai μ dengan intensitas sinar-X I_0 dan I

(Yanyah & Sutanto, 2015), sehingga nilai μ dengan menggunakan GL dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{1}{x} \cdot \ln \frac{I}{I_0} = -\mu \quad (4.13)$$

Tabel 4.5. Hubungan Koefisien Atenuasi Terhadap Konsentrasi Timbal

Konsentrasi Timbal	Koefisien Atenuasi Linier
Sampel A	0,11328048
Sampel B	0,15691327
Sampel C	0,1831095
Sampel D	0,21584088

Setelah dilakukan pengolahan menggunakan software MATLAB, dihasilkan koefisien atenuasi linier pada tabel 4.5 menunjukkan bahwa semakin banyak konsentrasi timbal dalam polyester menunjukkan semakin besar nilai koefisien atenuasinya. Hal tersebut dibuktikan pada sampel dengan konsentrasi 40% timbal dan 60% resin memiliki koefisien atenuasi rata rata sebesar 0,21584088 cm^{-1} , sampel dengan konsentrasi timbal 30% dan resin 70% memiliki koefisien atenuasi 0,1831095 cm^{-1} , sampel dengan konsentrsi timbal 20% dan resin 80% memiliki koefisien atenuasi 0,15691327, dan sampel dengan konsentrasi timbal 10% dan resin 90% memiliki koefisien atenuasi 0,11328048.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Pada sampel dengan konsentrasi timbal 10% memiliki nilai laju dosis serap radiasi meningkat terhadap bertambahnya ketebalan plat polyester timbal bekas aki sepeda motor sebagai proteksi radiasi. Besar laju dosis serap radiasi berbanding terbalik dengan ketebalan plat polyester timbal. Semakin tebal plat polyester timbal semakin besar pula nilai laju dosis serap radiasi yang terukur.
2. Variasi konsentrasi timbal mempengaruhi homogenitas sampel, sehingga nilai laju dosis radiasinya bergantung dengan sebaran timbal dalam sampel.
3. Bertambahnya konsentrasi timbal dan tebal plat polyester timbal membuat nilai $\ln \frac{I}{I_0}$ cenderung menurun, yang merupakan kemampuan transmisi sampel terhadap sinar-X dan nilai $\log \frac{I_0}{I}$ meningkat yang menunjukkan nilai densitas optik.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, beberapa saran yang diberikan sebagai berikut

1. Perlu dilakukan penelitian metode pembuatan polyester timbal untuk mendapatkan hasil yang homogen sempurna.
2. Perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui sebaran serbuk dan efektifitas dari sampel.
3. Pengembangan penelitian dapat diarahkan ke ranah bisnis, mengingat kemungkinan produksi massal dari komposit polyester timbal.
4. Pengukuran laju dosis radiasi dapat menggunakan surveymeter digital agar ketelitian hasil pengukurannya lebih besar

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Alkrytania, D., & Indrajati, I. N. (2015). "Analisis Bahan Apron Sintetis Dengan Filler Timbal (Pb) Oksida Sesuai Sni Untuk Ppoteksi Radiasi Sinar-X." *Jurnal Forum Nuklir (JFN)*, 9(November), 38–43.
- AbuAlRoos, N. J., Amin, N. A. B., & Zainon, R. (2019). "Conventional and new lead-free radiation shielding materials for radiation protection in nuclear medicine: A review." *Radiation Physics and Chemistry*, 165(August). <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108439>
- Aminian, M., Bakhshandeh, M., Allahbakhshian-farsani, M., Bakhshandeh, E., & Shakeri, N. (2017). "Comparison of the protection performance in a composite shield and a lead standard shield in terms of biological effects in nuclear medicine Department of Hematology and Blood BankinG." *Faculty of Allied Medical Sciences , Department of Biostatistics , Faculty of Allied Medical Sciences* ,. 25(2), 129–135.
- Atmojo., Mulyono, S., Krismawan., Jalil,A. 2011. "Desain Pintu Ruang Pesawat Sinar-X Dari Bahan Komposit Karet Alam Timbal Oksida." *Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir BATAN*. ISSN: 1411-0296
- Bapeten. 2011. "Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik Dan Intervensional." Peraturan Kepala Badan Pengawasan Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011.
- Beizer, Arthur. 1987. *Konsep Fisika Modern Jilid 3*. Jakarta: Erlangga
- Bushong, S.C.2001. "Radiologic Science for Technologists (7th ed.)." U. S of America: A Harcourt Health Science Comp
- 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. (2015). "Kajian teori dasar pada nanomaterial timbal sebagai proteksi radiasi."
- Fosbinder, R. 2012. "Essential of Radiologic Science." New York: McGraw-Hill
- Gumilar, R., Fitriani, A. N., Ummutafiqoh, T., Subkhi, M. N., & Perkasa, Y. S.

- (2016). "Studi Pengukuran Koefisien Atenuasi Material Zincalume Sebagai Perisai Radiasi Gamma." *Wahana Fisika*, 1(1), 21–31.
- Hasnawati. (2016). "Analisis Dosis Paparan Radiasi Sinar-X Diunit Radiologi Rs. Bhayangkara Makassar." UIN Alauddin Makassar.
- Jia, Q., Chen, Z., Jiang, X., Zhao, Z., Huang, M., & Li, J. (2017). "Operator Radiation and the Efficacy of Ceiling-Suspended Lead Screen Shielding during Coronary Angiography : An Anthropomorphic Phantom Study Using Real-Time Dosimeters." *Nature Publishing Group*, (August 2016), 1–8.
- Junior, T. A. A., Nogueira, M. S., Campos, L. L., & Araújo, F. G. S. (2017). Author ' s Accepted Manuscript "Mass Attenuation Coefficients Of X- Rays In Different Barite Concrete Used In Radiation Protection As Shielding Against Ionizing Radiation X-Rays In Different Barite Concrete Used In Radiation." *Radiation Physics and Chemistry*.
- Krane, Kenneth S. 2011. "Modern Physics Third Edition." United State of America: John Wiley & Sons, Inc
- Laitbun, Y. M., Sutanto, H., & Anam, C. (2013). Pengukuran Laju Paparan Radiasi Sinar-X Pada Ruang Operator RSUD .Prof. DR. W. Z. Johannes Kupang. *Youngster Physics Journal*, 2(1), 49–52.
- M.K. Matori, A. Ripin, H. Salleh, M. J. M. Isa, Z. Jamaluddin, F. Abd Rahman, K. M. Z. (2014). "Penggunaan Americium-241 Bagi Pengukuran Ketebalan Kesetaraan Plumbum Untuk Bilik Penyinaran Bagi Perubatan Di Institut Kanser Negara Dan Hospital Besar Melaka: Satu Kajian." *Proceeding Agensi Nuklear Malaysia, Satu Kajian*.
- Mccaffrey, J. P., Shen, H., & Downton, B. (2007). "Radiation attenuation." *lead and nonlead materials used*.
- Meredith, W.J, & J. B. Massey. 1977. *Fundamental Physics of Radiology*. Manchester: Year Book Medical Publishers
- Muharini, A., & Rosita, W. (2017). "Studi Koefisien Atenuasi Kulit Sintetis Dengan Bahan Isian Pb(No 3) 2 Untuk Bahan Apron Proteksi Radiasi Pada Instalasi Radiodiagnostik." *Prosiding*, (November), 375–382.

- Putra, K. P. 2012. "Pengaruh Perbedaan Tegangan Alat Radiografi Gigi Terhadap Kualitas Densitas Gambar Radiografi Periapikal" Skripsi. Jember: FKG Universitas Jember.
- Putra, M. A. 2012. "Analisis Resiko Kegiatan Praktikum Teknik Radiografi Di Laboratorium Jurusan Teknik Radiodiagnostik Dan Radioterapi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Jakarta I." Skripsi. Depok: Universitas Indonesia
- Rahma, I. N. (2016). "Tutup Instalasi Listrik Pada Atap Rumah Sebagai Bahan Proteksi Radiasi Sinar-X." Universitas Negeri Semarang.
- Rahmawati, A. (2009). "Pengkajian Koefisien Atenuasi Massa Material Pada Proses Hamburan Compton Dengan Menggunakan Simulasi Yang Berbasis Bahasa Pemrograman Delphi 7.0." Universitas Sebelas Maret.
- Rudi, Pratiwi, & Susilo. (2013). "Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar - X Di Instalasi Radiodiagnostik Untuk Proteksi Radiasi." *Unnes Physics Journal*, 1(2252).
- Sari, S. 2012. "Pengembangan Sistem Manajemen Keselamatan Radiasi Sinar-X Di Unit Kerja Radiologi Rumah Sakit XYZ Tahun 2011." Skripsi. Depok : Universitas Indonesia
- Savitri, R. E, Susilo, Sunarmo. 2014. "Optimasi Faktor Eksposi pada Sistem Radiografi Digital Menggunakan Analisis CNR (Contrast To Noise Ratio)." *Unnes Physics Journal* 3 (1), 60-67
- Setiyawan, I., Sutanto, H., & Firdausi, K. S. (2015). "Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan Pada Besi, Tembaga Dan Stainless Steel Sebagai Bahan Perisai Radiasi." *Youngster Physics Journal*, 4(2), 219–224.
- Singh, A. K., Singh, R. K., Sharma, B., & Tyagi, A. K. (2017). "Characterization and Biocompatibility Studies of Lead Free X-ray Shielding Polymer Composite for Healthcare Application." *Radiation Physics and Chemistry*.
- Susanti, T. (2015). "Komposit Poliester Timbal Sebagai Material Proteksi Radiasi Untuk Pengganti Kaca Timba." Universitas Negeri Semarang.
- Susilo, Rahma, I. N., Mosik, & Masturi. (2017). "Study of Lead as a Source X-ray Radiation Protection with an Analysis Grey Level Image." *Journal Of Physics*:

Conference Series, 3–8.

- Susilo, Wahyu S.B., dan Kusminarto. 2013. "Aplikasi Perangkat Lunak Berbasis Matlab Untuk Pengukuran Radiograf Digital." *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (Indonesian Journal of Physics Education)* 9.1
- Susilo, W.S. Budi, Kusminarto, & G. B. Suparta. 2013. "Kajian Radiografi Digital Tulang Tangan." *Berkala Fisika*. ISSN: 1410 – 9662
- Suwarno, S. P. (2015). "Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al_2O_3) Untuk Aplikasi Alternatif Phantom Tulang Kortikal." Universitas Negeri Semarang.
- Suyatno, F. 2011. "Aplikasi Radiasi Sinar-X Di Bidang Kedokteran Untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat." *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir* ISSN 1978-0176
- Syahria, Setiawati, E., & Sofjan, K. (2012). "Di Ruang Pemeriksaan Instalasi Radiologi Rsud Kabupaten Kolaka - Sulawesi Tenggara." *Berkala Fisika*, 15(4), 123–132.
- Tantra, D. A. (2014). "Studi pembuatan perisai radiasi tembus pandang dengan paduan timbal acrylic sebagai alternatif pengganti kaca timbal." (Universitas Gadjah Mada. Retrieved from <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
- T. A. A. Junior, M.S. Nogueira, M.A.P. Santos, L.L. Campos, F.G.S. Araújo. 2017. "Mass attenuation coefficients of x-rays in different barite Concrete used in radiation protection as shielding against Ionizing radiation. *Radiation Physics and Chemistry*."
- Tekin, H. O. (2016). "MCNP-X Monte Carlo Code Application for Mass Attenuation Coefficients of Concrete at Different Energies by Modeling 3×3 Inch NaI (Tl) Detector and Comparison with XCOM and Monte Carlo Data." *Hindawi Publishing Corporation*, 2016.
- Truong, K., Bradley, S., Baginski, B., Wilson, J. R., Medlin, D., Zheng, L., Dean, D. (2018). "The effect of well-characterized, very low-dose x-ray radiation on fibroblasts." 1–16.
- Widyaningsih, Dewi., & Hari, S. 2013. "Penentuan Dosis Radiasi Eksternal pada Pekerja Radiasi di Ruang Penyinaran Unit Radioterapi Rumah sakit Dr. Kariadi Semarang." *Berkala Fisika*. Vol 16 No.2, hal 57-62

- Wijayanto, A. A. (2014). "Pengaruh Komposisi Filler Timbal (Ii) Oksida Dan Adcm (Azodicarbonamide) Terhadap Nilai Koefisien Atenuasi Gamma, Kuat Tarik, Dan Kemuluran Kulit Sintetis Bahan Apron Proteksi Radiasi " Universitas Gadjah Mada. Retrieved from <http://etd.repository.ugm.ac.id/>
BAB
- Wiriyosimin, Suwarno. 1995. *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Widyaningsih, D., & Sutanto, H. (2013). "Penentuan Dosis Radiasi Eksternal Pada Pekerja Radiasi Di Ruang Penyinaran Unit Radioterapi Rumah Sakit Dr.Kariadi Semarang." *Berkala Fisika*, 16(2), 57–62.
- Yanyah, A., & Sutanto, H. (2015). "Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan Dan Dosis Radiasi Pada Variasi Kombinasi Kayu Dan Aluminium" *Youngster Physics Journal*, 4(1), 87–92.
- Yulianti, I, Susilo, Masturi, T Susanti, dan R Setiawan. 2020. "Lead-Polyester Resin Composite as An Alternative Material for Radiation Protection In Radiography." *Journal of Physics: Conference Series*
- Yuniarsari, L., Rozali, B., & Syawaludin, B. (2013). "Perancangan Perisai Radiasi Pada Kepala Sumber Untuk Pesawat Radioterapi Eksternal Menggunakan C O -60 Pada Posisi Beam Off." *Junal Perangkat Nuklir*, 7(1978), 32–40.
- Zahirah, N., & Noor, B. (2013). "Design of Nanostructured Polymeric Materials for Radiation Shielding of Ionizing Radiations." (September).

LAMPIRAN-LAMPIRAN

1. Data Laju Dosis Serap Plat Polyester Timbal

Perbandingan Massa	Ketebalan (cm)	Dosis Sisa (sV/Jam)	Dosis Serap (sV/Jam)	Presentasi Dosis Serap (%)
10:90	0	9000	0	0
	0,5	600	8400	93,33333333
	1	600	8400	93,33333333
	1,5	600	8400	93,33333333
	2	300	8700	96,66666667
	2,5	300	8700	96,66666667
	3	300	8700	96,66666667
20:80	0	9000	0	0
	0,5	7500	1500	16,66666667
	1	3000	6000	66,66666667
	1,5	1500	7500	83,33333333
	2	400	8600	95,55555556
	2,5	350	8650	96,11111111
	3	300	8700	96,66666667
30:70	0	9000	0	0
	0,5	6000	3000	33,33333333
	1	2000	7000	77,77777778
	1,5	1000	8000	88,88888889
	2	400	8600	95,55555556
	2,5	400	8600	95,55555556
	3	350	8650	96,11111111
40:60	0	9000	0	0
	0,5	600	8400	93,33333333
	1	400	8600	95,55555556
	1,5	350	8650	96,11111111
	2	350	8650	96,11111111
	2,5	350	8650	96,11111111
	3	275	8725	96,94444444

2. M-File Analisis Grey Level (GL)

Ketebalan	Sampel A		Sampel B		Sampel C		Sampel D		Sampel A
	Io	I	Io	I	Io	I	Io	I	
0,5	252,977	231,978	253,66	216,95	252,494	208,966	247,52	198,74	-0,0866
1	240,978	218,121	254,191	217,068	255	209,799	255	201,083	-0,0996
1,5	254,972	222,045	255	213,567	248,143	203,397	255	194,776	-0,1382
2	253,349	204,241	235,211	187,405	237,384	184,724	251,263	181,766	-0,2154
2,5	248,343	192,536	255	188,485	245,27	174,53	254,935	177,095	-0,2545
3	252,357	184,174	242,135	169,828	246,258	166,214	252,192	170,092	-0,3149

3. Hasil Analisis Grey Level (GL)

```

function varargout = AnalisisGreyLevelCitra2(varargin)
% ANALISISGREYLEVELCITRA2 MATLAB code for
% AnalisisGreyLevelCitra2.fig
%   ANALISISGREYLEVELCITRA2, by itself, creates a new
%   ANALISISGREYLEVELCITRA2 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = ANALISISGREYLEVELCITRA2 returns the handle to a new
%   ANALISISGREYLEVELCITRA2 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%
ANALISISGREYLEVELCITRA2('CALLBACK',hObject,eventData,hand
les,...) calls the local
%   function named CALLBACK in
ANALISISGREYLEVELCITRA2.M with the given input arguments.
%
%   ANALISISGREYLEVELCITRA2('Property','Value',...) creates a
%   new ANALISISGREYLEVELCITRA2 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before AnalisisGreyLevelCitra2_OpeningFcn
%   gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
%   application
%   stop. All inputs are passed to AnalisisGreyLevelCitra2_OpeningFcn
%   via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
%   only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
AnalisisGreyLevelCitra2

% Last Modified by GUIDE v2.5 28-Apr-2020 11:16:56

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @AnalisisGreyLevelCitra2_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @AnalisisGreyLevelCitra2_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...

```

```

        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

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

% --- Executes just before AnalisisGreyLevelCitra2 is made visible.
function AnalisisGreyLevelCitra2_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to AnalisisGreyLevelCitra2 (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for AnalisisGreyLevelCitra2
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes AnalisisGreyLevelCitra2 wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = AnalisisGreyLevelCitra2_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

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

```



```

% --- Executes on button press in loadcitra.
function loadcitra_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to loadcitra (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
[filename, path]=uigetfile('*.jpg','Load Image');
if isequal(filename,0)
    return
end

img=rgb2gray(imread(fullfile(path,filename)));

axes(handles.axes1)
imshow(img)

setappdata(handles.figure1,'img',img)
% --- Executes on button press in clear.
function clear_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to clear (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
imshow(img)

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect=getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
mb=mean2(imcb);
set(handles.edit1,'string',mb)
sdb = std2(imcb);
set(handles.edit2,'string',sdb)
axes(handles.axes2)
imshow(imcb)
axes(handles.axes3)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)

```

```
setappdata(handle.figure1,'mb',mb)
setappdata(handle.figure1,'sdb',sdb)
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

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

```
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```

% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in ppropstep1.
function ppropstep1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to ppropstep1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect = getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
mb=mean2(imcb);
set(handles.edit3,'string',mb)
sdb = std2(imcb);
set(handles.edit4,'string',sdb)
axes(handles.axes4)
imshow(imcb)
axes(handles.axes5)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)
setappdata(handles.figure1,'mb',mb)
setappdata(handles.figure1,'sdb',sdb)

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

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

```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%   str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a
double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

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

```

```

% --- Executes on button press in cropstep2.
function cropstep2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to cropstep2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect =getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
mb=mean2(imcb);
set(handles.edit5,'string',mb)
sdb = std2(imcb);
set(handles.edit6,'string',sdb)
axes(handles.axes6)

```

```

imshow(imcb)
axes(handles.axes7)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)
setappdata(handles.figure1,'mb',mb)
setappdata(handles.figure1,'sdb',sdb)

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a
double

```

```

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

```

```

function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit6 as a
double

```

```

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

```

```

function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
% --- Executes on button press in pcropstep3.
```

```
function pcropstep3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pcropstep3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect=getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
mb=mean2(imcb);
set(handles.edit7,'string',mb)
sdb = std2(imcb);
set(handles.edit8,'string',sdb)
axes(handles.axes8)
imshow(imcb)
axes(handles.axes9)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)
setappdata(handles.figure1,'mb',mb)
setappdata(handles.figure1,'sdb',sdb)
```

```
% --- Executes on button press in cropstep4.
```

```
function cropstep4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to cropstep4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
img=getappdata(handles.figure1,'img');
axes(handles.axes1)
rect=getrect;
gh=find(rect);
hold on
rectangle('position',rect,'EdgeColor','r','LineWidth',1)
imcb=imcrop(img,rect);
```

```

mb=mean2(imcb);
set(handles.edit9,'string',mb)
sdb = std2(imcb);
set(handles.edit10,'string',sdb)
axes(handles.axes10)
imshow(imcb)
axes(handles.axes11)
imhist(imcb)
setappdata(handles.figure1,'imcb',imcb)
setappdata(handles.figure1,'mb',mb)
setappdata(handles.figure1,'sdb',sdb)

```

```

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit7 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit7 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   empty - handles not created until after all CreateFcns called

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

```

```

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit8 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit8 as a
double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

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

```

```

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit9 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit9 as a
double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit9 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

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

```

```

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

```



```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit10 as text
%       str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit10 as a
double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

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

Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Aki Bekas



Gambar2. Aki bekas setelah di buka



Gambar 3. Sekat antar lembar timbal pada aki



Gambar 4. Lembaran timbal pada aki



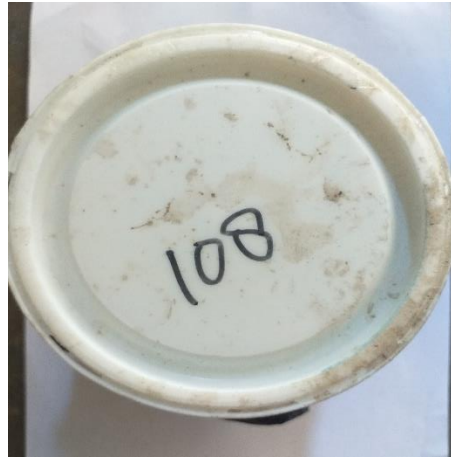
Gambar 5. Komponen yang ada di dalam lembar aki setelah di tumbuk



Gambar 6. Serbuk timbal yang dihasilkan setelah diayak



Gambar 7. Serbuk timbal untuk uji SEM-EDX



Gambar 8. Resin Yukalac C 108-B



Gambar 9. Proses pencampuran resin dengan timbal



Gambar 10. Hasil cetakan dari komposit polyesther



Gambar 11. Pengaturan faktor eksposi pada sinar-X



Gambar 12. Proses perekaman menggunakan survey meter analog

