



**KOMPOSIT POLIESTER TIMBAL SEBAGAI
MATERIAL PROTEKSI RADIASI UNTUK
PENGANTI KACA TIMBAL**

Skripsi

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

oleh

**Tri Susanti
4211411054**

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

2015

PERNYATAAN

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

Semarang, 1 Desember 2015


Tri Susanti
NIM. 4211411054

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul:

Komposit Akrilik Timbal Sebagai Material Proteksi Radiasi Untuk
Pengganti Kaca Timbal

disusun oleh

Tri Susanti

4211411054

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal 1 Desember 2015

Panitia:

Ketua



Dr. Zaenuri, S.E., M.Si. Akt.
NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 196306101989011002

Ketua Penguji

Prof. Dr. Sutikno, M.T.
NIP. 197411201999031003

Anggota Penguji/
Pembimbing Utama

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

Anggota Penguji/
Pembimbing Pendamping

Dr. Masturi, M.Si
NIP. 198103072006041002

MOTTO

“Trust your true self”

“Cobalah untuk tidak menjadi orang sukses, tapi jadilah seorang yang bernilai”

(Albert Einstein)

“Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan?” (Surah

Arrahman)

PERSEMBAHAN

Atas anugerah Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk

1. Bapak dan ibuku yang selalu mengajarkanku bersyukur dan disiplin
2. Kakak dan Adik –adikku
3. Bapak –Ibu Guru, Bapak –Ibu Dosen
4. Sahabat- sahabatku
5. Almamaterku

KATA PENGANTAR

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

1. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M. Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si. Akt. Dekan FMIPA UNNES.
3. Dr. Khumaedi, M.Si., Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNNES.
4. Prof. Dr. Susilo, M. Si., Pembimbing I yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Masturi, S. Pd., M. Si., Pembimbing II yang telah membimbing penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Prof. Dr. Supriyadi, M. Si, Kepala Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang
7. Rudy Setiawan (Undip) dalam membantu penelitian
8. Bapak, Ibu tercinta dan terkasih yang selalu menjadi sumber inspirasi untuk selalu berjuang.
9. Kedua kakakku Sari Astuti dan Ilham sanjaya serta adikku Ayu Nirmala sumber penyemangatku.
10. Evan Kurniawan atas kesabaran dan perhatiannya kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat fisika (Serli, Adda, dan Ninik) yang selalu menyemangati disaat putus asa.
12. Sahabat-sahabatku (Fatimah, Lutfiani, Ana, Rohma dan Fika).
13. Teman-teman lab. Medik yang selalu membantu selama penelitian.

14. Teman-teman Fisika angkatan 2011 yang selalu menjadi teman diskusi
15. Teman-teman lab. Material (Ulul, Habibi dalam membantu proses penelitian)
16. Teman-teman “Bella Vista” dan “Griya Utama’ yang selalu memberikan pelajaran hidup yang berharga.
17. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

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

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PENGESAHAN	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
ABSTRAK	xii
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Sistematika Skripsi	5
BAB 2	6
2.1. Sinar X.....	6
2.1.1. Sinar-X Karakteristik	8
2.1.2. Sinar-X Bremstrahlung	10
2.2. Interaksi Sinar-X dengan Materi.....	11
2.3. Radiografi Digital.....	14
2.4. Faktor Eksposi	16
2.5. Perisai Radiasi	18
2.5.1. Kaca Timbal	20
2.5.2. Timbal Asetat	21
2.5.3. Resin Poliester Tak Jenuh	22
2.6. Laser He-Ne	24
2.7. Luxmeter	25
2.8. <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	26
2.8.1. Interaksi <i>Van der Waals</i>	27
BAB 3	29
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian.....	29

3.2.	Alat dan Bahan	29
3.3.	Metode Penelitian.....	30
3.4.	Tahapan Penelitian	31
3.4.1.	Membuat Komposit Poliester Timbal	31
3.4.2.	Ekspose terhadap Laser He-Ne	32
3.4.3.	Ekspose terhadap sinar-X.....	33
3.4.4.	Analisis nilai koefisien atenuasi dengan Matlab.....	34
3.4.5.	Karakterisasi <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	35
BAB 4	37
4.1	Pengamatan Sampel	37
4.2	Analisis citra menggunakan dengan Matlab.....	39
4.3	Analisis Sampel Poliester dengan Variasi Konsentrasi Timbal	41
4.3.2	Analisis Absorbansi Sampel Terhadap Sinar-X.....	41
4.3.2.	Pengujian Kemampuan Transmisi Sampel Terhadap Cahaya	44
4.4	Analisis Sampel Poliester Resin dengan Variasi Ketebalan Sampel.....	45
4.4.2	Analisis Absorbansi Sampel Terhadap Sinar-X.....	45
4.4.2	Analisis Kemampuan Transmisi Sampel Terhadap Cahaya	48
4.5	Analisis FTIR	49
4.6.	Analisis Rapat Luas Atom.....	52
4.7.	Pembahasan Umum	54
BAB 5	56
5.1.	Simpulan.....	56
5.2.	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	70
LAMPIRAN	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Material Perisai Gamma (g cm^{-2}).....	19
Tabel 2.2 Spesifikasi lead (II) acetate trihydrate	21
Tabel 3.1 Komposisi sampel variasi konsentrasi timbal.....	32
Tabel 3.2 Sampel Variasi ketebalan.....	32
Tabel 4. 1 Pengamatan pada sampel dengan konsentrasi yang berbeda	37
Tabel 4. 3 koefisien serapan massa $\mu\rho$ dan massa jenis ρ untuk energy 50 kV ...	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tabung sinar-X.....	7
Gambar 2. 2 Sinar-X karakteristik	8
Gambar 2. 3 Sinar-X Bremstrahlung	10
Gambar 2.4 Proses Efek Fotolistrik	12
Gambar 2.5 Proses Hamburan Compton.....	13
Gambar 2.6 Proses Produksi Pasangan	13
Gambar 2.7 Sistem radiografi digital	14
Gambar 2.8 Mekanisme penyerapan sinar-X.....	20
Gambar 2.9 Ikatan Kimia Yukalac 157 BTNQ.....	23
Gambar 2.10 Luxmeter	25
Gambar 2.11 Prinsip kerja FTIR.....	26
Gambar 3. 1 Skema Penelitian	31
Gambar 3. 2 Skema pengujian transmitansicahaya.....	33
Gambar 3. 3 Tampilan software GUI pada matlan	34
Gambar 3. 4 Alat Fourier Transform Infrared	36
Gambar 4. 1 Sampel variasi konsentrasi	38
Gambar 4. 2 Sampel dengan konsentrasi ketebalan yang gagal.	38
Gambar 4. 3 Sampel variasi tebal yang diujikan	39
Gambar 4. 4 Grafik hubungan $\ln GL_x/GL_o$ dengan konsentrasi timbal.....	42
Gambar 4. 5 Grafik hubungan $\log GLoGLx$ dengan konsentrasi timbal.....	43
Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara tebal sampel dengan transmitansi cahaya..	44
Gambar 4. 7 Citra radiograf digital	45
Gambar 4. 8 Grafik hubungan $\ln GL_x/GL_o$ dengan tebal sampel	46
Gambar 4. 9 Grafik hubungan $\log GLoGLx$ dengan tebal sampel	47
Gambar 4. 10 Grafik hubungan Transmisi dengan Jarak.....	48
Gambar 4. 11 Spektrum FTIR dari Poliester timbal dan Poliester resin.....	50
Gambar 4. 12 Interaksi antara gugus ester dan timbal asetat.....	51
Gambar 4. 13 Interaksi pada gugus ester dengan timbal asetat	51
Gambar 4. 14 Interaksi antar partikel.....	52

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan Sampel variasi konsentrasi timbal.....	63
Lampiran 2. Perhitungan sampel variasi tebal sampel.....	65
Lampiran 3. Analisis FTIR	67
Lampiran 4. Analisis rapat luas atom.....	68
Lampiran 5. Foto penelitian	70

ABSTRAK

Susanti, Tri. 2015. *Komposit Poliester Timbal Sebagai Material Proteksi Radiasi Untuk Pengganti Kaca Timbal.* Skripsi, Jurusan Fisika. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.Si. dan Pembimbing pendamping Dr. Masturi, M.Si.

Kata kunci: Poliester timbal, digital radiografi, FTIR, koefisien atenuasi, perisai radiasi tembus pandang

Telah dilakukan penelitian terhadap polyester resin yang di *dopping* oleh timbal asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$). Sampel dibuat dengan variasi konsentrasi timbal sebesar 0%, 3,5%, 3,75%, 4%, dan 4,5% serta dengan variasi ketebalan sebesar 0,5 cm, 0,7 cm, 0,9 cm, 1,1 cm, dan 1,5 cm. Sampel diuji menggunakan sinar-X, laser He-Ne, dan uji FTIR. Pertambahan konsentrasi timbal dan ketebalan sampel menyebabkan bertambahnya nilai $\text{Log} \frac{GL_0}{GL_x}$, sebagai alternatif densitas optik dan menurunnya nilai $\text{Ln} \frac{GL_x}{GL_0}$, yaitu nilai transmisi sampel terhadap sinar-X. Berdasarkan penelitian didapatkan nilai koefisien atenuasi dengan variasi konsentrasi timbal sebesar $0,132 \text{ cm}^{-1}$, $0,435 \text{ cm}^{-1}$, $0,543 \text{ cm}^{-1}$, $0,691 \text{ cm}^{-1}$, dan $1,156 \text{ cm}^{-1}$. Koefisien atenuasi sampel dengan variasi tebal sampel diperoleh rerata $0,616 \pm 0,049 \text{ cm}^{-1}$. Diketahui jarak kesetimbangan, jarak minimum dan jarak maksimum antar partikel dengan polimer berturut turut $3,69 \text{ \AA}$, $3,29 \text{ \AA}$ dan $10,19 \text{ \AA}$. Sedangkan luas rapat atom sebesar $1,93 \times 10^6 \text{ atom/}\mu\text{m}^2$. Komposit polyester timbal dengan komposisi 3,5% timbal asetat dapat digunakan sebagai alternatif dengan pertimbangan kemampuan meneruskan cahaya yang lebih tinggi dan kemampuan menyerap radiasi.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Radiasi yang mengenai tubuh manusia dapat menimbulkan kerugian bagi pekerja dari paling ringan hingga fatal. Akibat interaksi tersebut maka sel-sel dapat mengalami perubahan struktur. Oleh karena itu diperlukan perisai radiasi untuk tujuan proteksi radiasi (Akhadi, 2001).

Proteksi radiasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengendalian efek merugikan. Oleh sebab itu setiap instalasi nuklir dan unit radiologi harus memperhatikan tentang proteksi radiasi untuk melindungi pekerja radiasi dan masyarakat umum (Putra *et al*, 2008). Untuk memproteksi diri dari sumber radiasi, maka diterapkan tiga strategi dasar yang dikenal sebagai prinsip proteksi radiasi yaitu: waktu, jarak dan perisai (Syafitri, 2014).

Material yang dapat digunakan sebagai perisai agar paparan radiasi tidak menyebar ke tempat yang tidak diinginkan antara lain adalah beton, timbal, baja, dan material berat lain. Untuk radiasi sinar X atau sinar Gamma, kemampuan material dalam menyerap radiasi terutama dipengaruhi oleh densitas material dan besarnya energi radiasi (Rahmawati, 2009). 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 (Marjanto, 2008). Syarat yang harus dipenuhi agar kondisi lingkungan diluar ruangan

menjadi aman bagi orang lain, ditetapkan sebesar 0,25 mRem/jam (Cowd, 1991).

Timbal mempunyai kegunaan bagi kehidupan manusia misalnya timbal digunakan dalam industri kabel, baterai, insektisida, bahan pembuat pipa (Cowd, 1991). Timbal dinilai sebagai salah satu bahan penahan radiasi yang paling baik sampai saat ini. Tidak semua bahan mampu dan cocok untuk menahan adanya radiasi gamma maupun sinar-X yang datang, hal ini tentunya dikarenakan sifat sinar gamma yang memiliki daya tembus besar dan mampu mengionisasi bahan yang dilewatinya (Tantra, 2014).

Penggunaan timbal sebagai penahan radiasi tidak hanya sebagai pelapis dinding dan atap tetapi di *dopping* juga pada kaca yang sering dikenal dengan kaca timbal (*lead glass*). Kaca ini sering digunakan diruangan instalasi nuklir, ruang kontrol radiodiagnostik dirumah sakit sebagai contohnya (Tantra, 2014). Selain berfungsi sebagai penahan radiasi, sifat transparan dari kaca timbal juga diperlukan. Ini dimaksudkan sebagai pemantau terhadap proses yang terjadi di ruang radiodiagnostik.

Adapun kaca timbal yang digunakan dalam berbagai instalasi nuklir masih mudah pecah dan harganya yang masih sangat mahal (Tantra, 2014). Hal tersebut menjadi kendala tersendiri bagi instalasi nuklir yang ingin menggunakan kaca timbal, oleh karena itu perlu adanya bahan alternatif yang bisa digunakan untuk membuat perisai radiasi transparan yang mampu menggantikan fungsi dari kaca timbal (Paviliyanti, 2012).

Asam poliester mampu menggantikan chelex-100 untuk mengikat logam Pb bebas dan terkompleks yang ada di lingkungan. Asam poliester yang terbentuk di dalam cetakan, memiliki sisi halus, elastis dan bening. Hal inilah yang menjadi acuan bahwa poliester mampu menggantikan kaca sebagai bahan pengikat timbal untuk dijadikan suatu perisai radiasi yang memiliki sifat transparan, tetapi sampai saat ini masih sangat sedikit topik penelitian yang membahas mengenai perisai radiasi sinar-X menggunakan Poliester timbal (Paviliyanti, 2012).

Sebelumnya telah dilakukan penelitian terhadap poliester timbal oleh Tantra (2014). Dari penelitian tersebut diperoleh komposisi 10% Pb dapat digunakan sebagai alternative kaca timbal atas dasar pertimbangan sifat transparan dari komposisi 10% Pb, nilai kuat tekan dan densitas optik sample. Dalam penelitian ini hanya dilakukan pengujian terhadap sinar-X dan uji transmisi terhadap poliester timbal. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan sampel dalam meneruskan cahaya. Adapun Pb yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pb asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) karena Pb asetat ini dapat larut dalam katalis resin (*thermoplastic poliester*). Selain Pb asetat terdapat Pb oksida (PbO) dan Pb nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). Pb oksida tidak dipilih karena, warnanya yang berwarna merah atau kuning, titik leburnya yang sangat tinggi dan tidak larut dalam katalis resin. Begitu pula dengan Pb nitrat yang tidak larut dalam katalis resin dan juga harganya yang cukup

mahal jika dibanding Pb asetat, selain itu titik lebur dari Pb nitrat juga jauh lebih tinggi jika dibanding Pb asetat (Firmansyah, 2007).

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimanakah komposisi dan tebal perisai radiasi tembus pandang alternatif berbahan dasar resin polyester dan di *dopping* oleh timbal asetat yang paling optimum?
2. Bagaimana pengaruh penambahan timbal asetat dan ketebalan sampel terhadap absorbansi *level* dan kemampuan transmisi sampel terhadap cahaya tampak?
3. Bagaimanakah struktur dalam sampel polyester timbal yang telah dibuat?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Optimasi komposisi dan tebal perisai radiasi tembus pandang berbahan dasar resin polyester dan di *dopping* oleh timbal asetat.
2. Mengetahui pengaruh penambahan timbal asetat dan ketebalan sampel terhadap absorbansi *level* dan kemampuan transmisi sampel terhadap cahaya tampak.
3. Mengetahui struktur dalam sampel dalam polyester timbal.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah dapat menjadi acuan dalam hal pembuatan perisai radiasi dengan bahan Poliester timbal selain kaca timbal sehingga menjadi referensi dengan harga yang lebih murah.

1.5. Sistematika Skripsi

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Bagian pendahuluan, berisi: halaman judul, persetujuan pembimbing, halaman pengesahan, pernyataan, motto dan persembahan, kata pengantar, sari, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi, terdiri dari lima bab yang meliputi:

Bab 1 Pendahuluan, bab ini memuat latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

Bab 2 Landasan teori, bab ini berisi kajian mengenai landasan teori yang mendasari penelitian.

Bab 3 Metodologi penelitian, bab ini berisi uraian tentang waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, metode pengumpulan data.

Bab 4 Hasil penelitian dan pembahasan, bab ini berisi tentang hasil-hasil penelitian dan pembahasan.

Bab 5 Penutup, bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian, dan saran-saran sebagai implikasi dari hasil penelitian.

Bagian penutup, bagian ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran

BAB 2

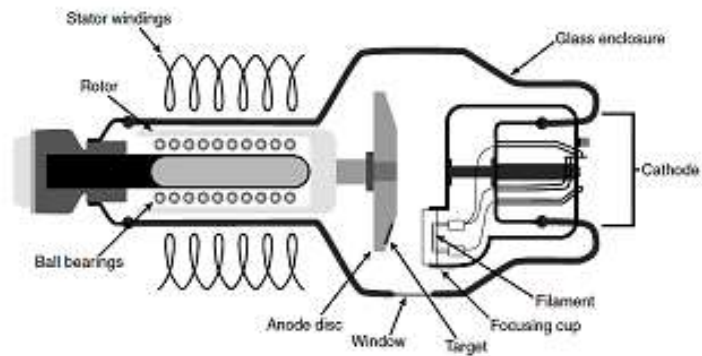
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sinar X

Secara umum radiasi adalah pemancaran energi dalam bentuk gelombang atau partikel yang dipancarkan oleh sumber radiasi atau zat radioaktif. Karena energinya yang cukup besar, maka radiasi tertentu dapat menimbulkan ionisasi di sepanjang lintasannya, sehingga radiasi tersebut dinamakan radiasi pengion (Syahria *et al*, 2012). Paparan radiasi pada tubuh dapat menimbulkan kerusakan baik pada tingkat molekuler, seluler ataupun jaringan atau organ (Alatas, 2006).

Sinar X ditemukan oleh Wilhem Conrad Roentgen seorang ahli fisika di Universitas Wurzburg Jerman, pada tahun 1895 sewaktu melakukan eksperimen dengan menggunakan sinar katoda (Pratiwi, 2006). Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 10^{-11} m sampai dengan 10^{-8} m dengan frekuensi antara 10^{16} Hz sampai dengan 10^{20} Hz. Dalam dunia medis, sinar-X yang digunakan mempunyai panjang gelombang antara $0,5 \text{ \AA}$ sampai dengan $0,125 \text{ \AA}$ (Rasad, 1981). Sinar X dapat menembus bahan, dengan transmitansi sangat besar sehingga digunakan dalam radiografi. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, semakin besar daya tembusnya.

Gambar 2.1 merupakan diagram tabung sinar-X. Sebuah katoda yang dipanasi oleh filament berdekatan yang dilalui arus listrik menyediakan electron terus-menerus dengan emisi termionik. Perbedaan potensial yang tinggi V mempertahankan antara katoda dengan target logam mempercepat elektron ke arah target tersebut. permukaan target membentuk sudut relatif terhadap berkas electron, dan sinar-X yang keluar dari target melewati pinggir tabung. Tabung tersebut dihampakan supaya electron dapat sampai ke target



Gambar 2. 1 Tabung sinar-X tanpa halangan (Beiseir, 1987).

(Sumber: Carroll, 2011)

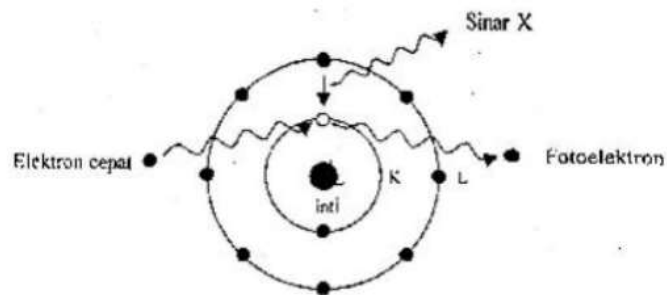
Tegangan tabung pada pembangkit sinar-X merupakan salah satu faktor yang dapat dikontrol untuk mengurangi radiasi hambur dan mengurangi dosis yang digunakan dalam radiodiagnostik (Vassileva, 2004). Peningkatan nilai tegangan tabung pembangkit sinar-X yang digunakan harus diimbangi dengan penurunan nilai arus tabung pembangkit sinar-X dan

waktu penyinaran sehingga diperoleh intensitas radiasi yang menghasilkan densitas bayangan yang cukup (Kramer, 2008).

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

2.1.1. 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



Gambar 2. 2 Sinar-X karakteristik pengujian analisa bahan (Bushong, 1997).

(Sumber: Pratiwi, 2006)

Elektron yang mendekati atom didalam anoda berinteraksi dengan elektron dalam atom tersebut, berupa tumbukan tak kenyal sempurna, akibatnya elektron anoda terlepas dari kulitnya. Atom tertinggal dalam keadaan bereksitasi 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 (Suyatno, 2008).

Menurut Beizer (1987: 70-75) total elektron (E_n) pada kulit ke- n dinyatakan sebagai berikut

$$E_n = \frac{z^2 m e^4}{2 \hbar^2 n^2} \quad (2.1)$$

Sedangkan besar energi foton yang terpancar ketika elektron berpindah yaitu:

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (2.2)$$

Dimana:

E_1 = energi kinetik pada kulit *hole*, eV

E_2 = energi kinetik pada kulit yang lebih tinggi, eV

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

ν = frekuensi foton sinar-X

Z = nomor atom

m = massa elektron ($9,1 \times 10^{-31}$ kg)

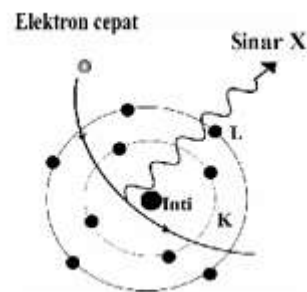
e = muatan elektron ($1,6 \times 10^{-19}$ C)

$n = \text{bilangan kuantum utama (orde kulit atom)} = 1,2..$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} (1,054 \times 10^{-34} \text{ J.s}) \quad (2.3)$$

2.1.2. Sinar-X Bremstrahlung

Sinar X yang dihasilkan akibat perlambatan berkas elektron cepat dalam medan magnet atom anoda yang disebut sinar-X kontinu atau sinar-X bremstrahlung yang mempunyai spektrum kontinu. elektron yang mendekati atom targed (anoda) akan berinteraksi dengan atom bahan anoda, tepatnya dengan elektron luar atom tersebut (Suyatno, 2008). Seperti pada Gambar 2.3 mengalami perlambatan sehingga mengeluarkan radiasi. Radiasi ini memiliki aneka ragam panjang gelombang, oleh karena itu proses bremstrahlung dapat



Gambar 2. 3 Sinar-X Bremstrahlung dialami elektron berulang kali.

(Sumber: Pratiwi, 2006)

Frekuensi maksimum sinar-X dapat dipancarkan oleh sinar-X bremsstrahlung dengan mempercepat electron melalui tegangan keluaran V pada target logam. Frekuensi maksimum di ilustrasikan dengan Persamaan 2.4

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

Sesuai dengan panjang gelombang minimum yaitu:

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

Dimana

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

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

$c = 3 \times 10^8$

Atau bisa ditulis dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_{min} \approx \frac{1,234}{kV} \quad (2.6)$$

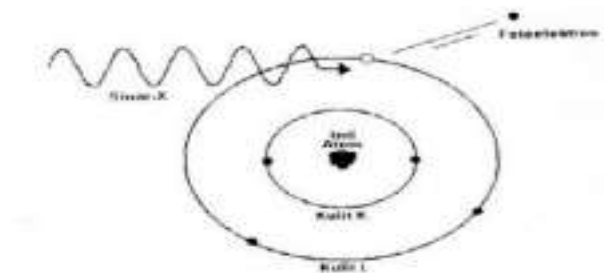
Proses emisi sinar-X oleh electron yang masuk juga dikenal sebagai efek fotolistrik terbalik (Wikipedia).

2.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi

Sinar X yang diradiasikan pada suatu materi akan terjadi interaksi antara sinar X dengan materi tersebut yang meliputi efek fotolistrik, efek

Compton, dan produksi pasangan. Karena interaksi tersebut maka intensitas sinar X setelah melewati material menjadi berkurang.

Dalam Gambar 2.2 merupakan ilustrasi proses efek fotolistrik, sinar-X menumbuk salah satu elektron dan memberikan seluruh energinya sehingga elektron tersebut lepas dari lintasannya. Elektron yang lepas dari lintasannya disebut *photoelectron* dan memiliki energy sebesar energy foton yang mengenainya. Dalam bidang radiodiagnostik, semakin besar jumlah absorpsi foton sinar-X dan perbedaan nomor atom objek maka semakin besar kontras

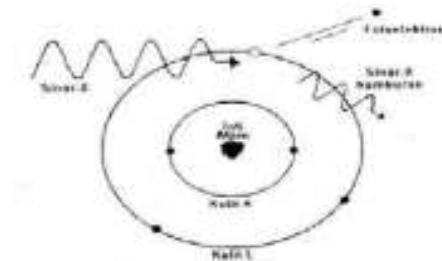


Gambar 2.4 Proses Efek Fotolistrik radiograf (Rudi, *et al*, 2013).

(Sumber: Gabriel, 1988)

Pada Gambar 2.3 hamburan Compton terjadi ketika sinar-X satuan energy dalam cahaya peristiwa dibelokkan dari alur yang aslinya oleh suatu interaksi dengan suatu electron. Elektron tersebut ditolak, dikeluarkan dari posisi orbitalnya dan besarnya energi sinar-X dijaga di proses ini. Besarnya energy tergantung pada penjurur atau sudut dalam tidak menyebar dan pada sifat alami medium yang menyebar. Karena satuan energy sinar-X

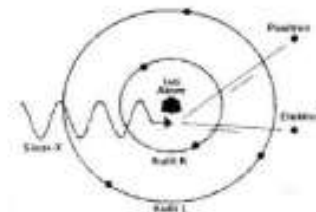
dalam cahaya yang menyebar mempunyai lebih sedikit energy, mempunyai



Gambar 2.5 Proses Hamburan Compton suatu panjang gelombang lebih panjang dan lebih sedikit penetrasi dibanding satuan energy dalam cahaya (Rudi, *et al*, 2013).

(Sumber: Gabriel, 1988)

Gambar 2.6 merupakan ilustrasi dari produksi pasangan. Produksi pasangan adalah interaksi antara foton dengan inti atom. Hasil dari interaksi ini, foton menghilang atau anihilasi dan muncul pasangan elektron-positron. Meskipun inti atom tidak mengalami perubahan apapun sebagai hasil dari interaksi tersebut, tetapi keberadaannya dibutuhkan sebagai syarat agar terbentuk produksi pasangan. Interaksi produksi pasangan mengeliminasi



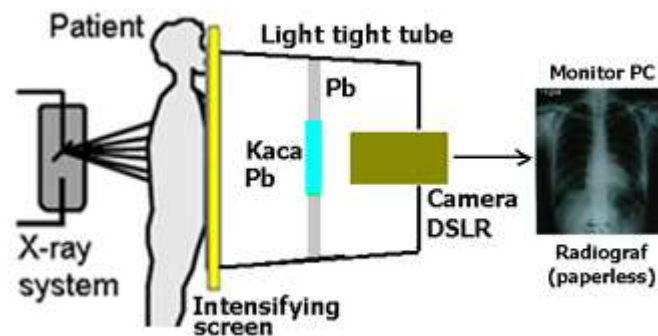
Gambar 2.6 Proses Produksi Pasangan

foton mula-mula, tetapi 2 foton terbentuk saat positron menghilang (Tantra, 2014).

(Sumber: Gabriel, 1988)

2.3. Radiografi Digital

Prinsip dari radiografi digital adalah memanfaatkan perbedaan penyerapan sinar-X pada bagian-bagian obyek atau tulang dan jaringan lainnya. Pada tulang padat, sinar-X yang diserap lebih banyak sehingga sinar yang datang ke image plate menjadi berkurang mengakibatkan gambaran tulang menjadi lebih putih dibanding dengan jaringan tulang lainnya. Oleh karena itu gambaran kanker tulang yang densitas optisnya berbeda dengan tulang normal ditampilkan berbeda pula pada layar tampilan gambar



Gambar 2.7 Sistem radiografi digital

(Cameron et al, 1999).

(Sumber: Susilo et al, 2014)

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:

$$D_o = \log I_o / I \quad (2.7)$$

Dengan I_o adalah intensitas cahaya yang masuk dan I adalah intensitas cahaya yang diteruskan (Susilo, 2014).

Densitas optis didefinisikan sebagai logaritma sebab mata mempunyai suatu tanggapan logaritmis terhadap perubahan kecerahan. DO diukur dengan menggunakan densitometer optis. Citra dalam radiologi diagnostik mempunyai DO dengan rentang dari 0,2 sampai 3,0, pada umumnya informasi yang bermanfaat dalam rentang 0,5 sampai 1,5 (Fosbinder, 2001).

Dengan cara yang sama, pengukuran DO dapat dilakukan. Dari persamaan 2.3, nilai DO menggunakan gray level (GL) sebagai berikut

$$DO = \log \frac{GL_o}{GL_x} \quad 2.8$$

Dengan nilai GL_o merupakan nilai GL pada background citra radiograf dan GL_x merupakan nilai GL pada objek (susilo et al, 2013).

Citra radiograf yang dihasilkan pada dasarnya adalah pemetakan sinar-X ketika melewati bahan seperti pada persamaan 2.3. Dengan

analisis berbasis Matlab, persamaan diubah dengan menggunakan GL sebagai berikut

$$GL_x = GL_o e^{-\mu x} \quad 2.9$$

Untuk memperoleh hubungan transmitansi dengan ketebalan persamaan dapat diubah sebagai berikut

$$\ln \frac{GL_x}{GL_o} = -\mu x \quad 2.10$$

Dengan GL_o adalah nilai GL pada background, GL_x nilai GL pada objek, μ adalah nilai koefisien atenuasi bahan (cm^{-1}) dan x tebal bahan (cm).

2.4 Faktor Eksposi

Faktor eksposi yaitu faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-X yang diperlukan dalam pembuatan gambar radiografi. Secara garis besar faktor eksposi adalah sebagai berikut (Bushong, 2001).

2.4.1. Tegangan Tabung

Pengaturan tegangan tabung pada pembuatan radiograf mengontrol nilai kontras radiograf. Makin tinggi pemilihan nilai tegangan tabung (kV) maka nilai kontras yang dihasilkan makin turun. Faktor yang mempengaruhi adalah efek interaksi Compton yang menghasilkan radiasi

hambur (scatter) serta penurunan nilai koefisien attenuasi linier. Efek radiasi hambur ini adalah mengurangi nilai kontras (Fridawanty, 2012)

2.2.4. Arus Tabung Sinar-X

Arus tabung satuannya adalah miliampere (mA) merupakan besarnya arus listrik antara anoda dan katoda. Arus tabung yang menentukan jumlah atau kuantitas sinar-X yang oleh tabung roentgen. Nilai mA dipilih mengontrol nilai kehitaman film yang dihasilkan agar selalu dalam rentang densitas guna (0,25-2,0). Pemilihan mA juga berhubungan dengan pemilihan ukuran fokal spots, mA besar maka *focal spots* yang dipilih besar begitu sebaliknya. Dalam praktek mA dipilih dengan waktu eksposi atau durasi sinar- terjadi (mAs). Waktu eksposi (s) merupakan satuan detik yang lamanya berkas sinar-x yang di paparkan pada organ yang di periksa. Waktu penyinaran ini berbeda-beda sesuai dengan objek yang di periksa, misalnya pada organ yang bergerak (jantung, colon, lambung). Maka waktu penyinaran di buat sesingkat mungkin untuk menghindari terjadinya ketidaktajaman akibat pergerakan (*unsharpness movement*).

2.4.3. Lama Waktu Penyinaran

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

2.4.4. Focus Film Distance (FFD)

Fokus film distance(FFD) merupakan jarak dari sumber sinar (fokus) ke image receptor (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 objek semakin banyak. Sedangkan jika FFD semakin jauh maka sedikit radiasi yang mengenai objek.

2.5 Perisai Radiasi

Meskipun perisai radiasi umumnya mengurangi paparan radiasi pada pekerja dan masyarakat dengan jarak yang ditentukan, perisai radiasi kosmik memiliki masalah yang kompleks. Hal ini karena keterbatasan masa dan energi yang tinggi pada partikel bermuatan yang juga dapat menghasilkan ledakan nuklir dalam bahan perisai. Bahan pertimbangan fisik, model matematis dan pengukuran secara jelas menunjukkan bahwa material yang tinggi hidrogen memiliki perlindungan terbaik terhadap radiasi, karena memiliki kekuatan menghentikan tinggi dan tampang lintang yang tinggi (Pugliese et al, 2010).

Menurut prinsip proteksi radiasi yaitu mengurangi waktu berada disekitar sumber radiasi, memposisikan diri sejauh mungkin dari sumber radiasi dan menggunakan perisai radiasi (Maryanto, 2008). Salah satu penggunaan perisai sangat penting untuk melindungi dari radiasi baik pekerja maupun masyarakat umum. Untuk itu dibuat aturan-aturan dan salah satunya

mengenai desain (konstruksi) ruang radiologi diagnostic yang harus memenuhi standar proteksi radiasi (Abdullah, 2013). Menurut standar oleh badan pengawas tenaga nuklir (BAPETEN), yaitu digunakan bahan yang setara dengan 2 mm timbal (Pb). 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.

Secara kuantitatif, penyerapan sinar gamma tentu akan berbeda dengan penyerapan alpha dan beta. Bahan utama yang digunakan sebagai penahan radiasi gamma atau sinar-X adalah timbal, baja, beton (Tantra, 2014). Berikut material perisai yang sering digunakan seperti pada Tabel 2.1

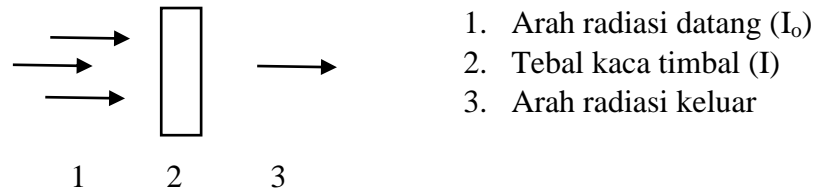
Tabel 2.1 Material Perisai Gamma (g cm^{-2})

Sumber Radiasi	Material Perisai, berat jenis g cm^{-3}					
	Air 1,0	Bata 1,4-1,6	Beton 1,8-2,4	Beton barit 2,8-3,8	Besi 7,8-7,9	Timbal 10-11,3
Aurum-198	35	36	35	26	33	12
Iridium-192	35	36	35	27	35	15
Iodium-131	36	37	36	28	36	16
Cesium-137	39	40	40	36	42	23
Ferrum-59	49	50	50	48	52	40
Cobalt-60	50	51	51	50	54	44
Radon-226	57	58	58	57	60	53

Sumber (Tantra, 2014)

2.5.1. Kaca Timbal

Kaca timbal berfungsi untuk melindungi kamera dan peralatan elektronik lain dari paparan sinar-X tetapi kemampuannya untuk meneruskan



Gambar 2. 8 Mekanisme penyerapan sinar-X

cahaya masih sesuai standar yang ditentukan. Sebagai perisai radiasi, penyerapan ini tidak lain adanya interaksi radiasi sinar-X dengan unsur pembentuk senyawa kaca timbal, yang berakibat berpindahnya energi radiasi kepada unsur tersebut. Mekanisme penyerapan radiasi oleh kaca timbal dapat dijelaskan sesuai Gambar 2.8

Kaca timbal yang digunakan sebagai penangkap citra sinar-X memerlukan spesifikasi tertentu. Diantaranya harus mampu menyerap radiasi sinar-X tetapi mampu meneruskan cahaya. Hubungan penyerapan radiasi bisa dinyatakan:

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

Dimana:

I = intensitas sinar masuk

I_0 = intensitas sinar keluar

μ = koefisien serapan linier

x = tebal kaca timbal

Intensitas sinar keluar merupakan fungsi dari koefisien serapan linier. Dimana koefisien tersebut bisa dicari dari daftar koefisien serapan massa untuk masing-masing unsur pembentuk senyawa kaca timbal.

2.5.2. Timbal Asetat

Timbal atau timah hitam merupakan logam berat yang terdapat secara alami didalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami maupun buatan. Timbal adalah logam berat, dengan nomor atom 82, berat atom 207,9 dan berat jenis 11,34. Bersifat lunak dan berwarna biru keabu abuan dengan kilau logam yang khas sesaat setelah dipotong. Kilaunya akan segera hilang sejalan dengan pembentukan lapisan oksida pada permukaannya, mempunyai titik leleh $327,5^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 1740°C (Silaban, 2008).

Timbal yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbal asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), lebih tepatnya *lead (II) acetate trihydrate*, berikut tabel tentang spesifikasi Pb Asetat tersebut pada Tabel.2.2.

Tabel 2.2 Spesifikasi lead (II) acetate trihydrate

<i>Grade :</i>	ACS, Reag. Ph Eur
Rumus kimia:	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4\text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Formulasi kimia:	$(\text{CH}_3\text{COO})_2 \text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
Kode HS:	2915 29 00
Nomor EC:	206-104-4
Massa molar :	379,34 g/mol
Nomor indeks EC :	082-005-00-8
Nomor CAS :	6080-55-4
Kelarutan dalam air :	443 g/l (20°C)
Titik leleh :	75°C

Densitas:	3,3 g/cm (20 ⁰ C)
<i>Bulk Density</i> :	1200 kg/cm ³
Angka pH :	5,5–6,5 (50 g/l, H ₂ O, 20 ⁰ C)

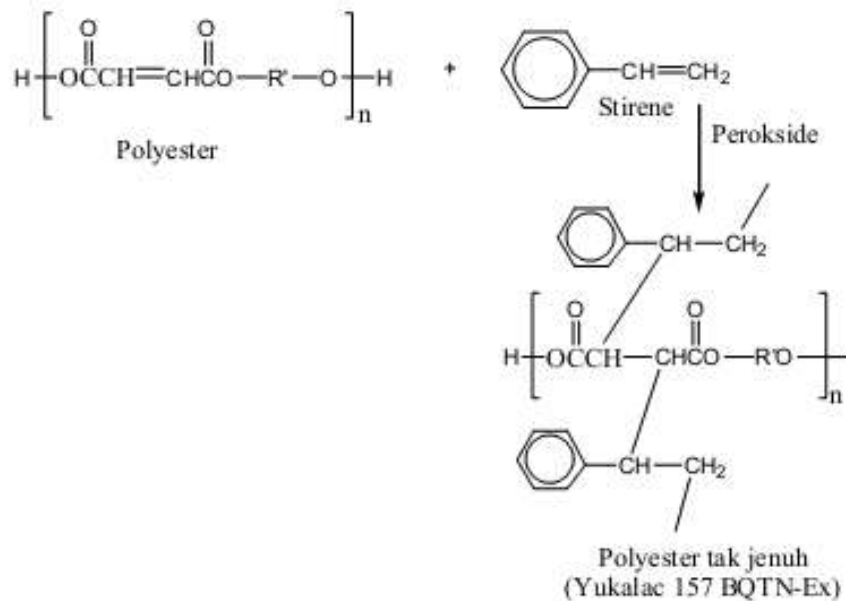
Sumber (Tantra, 2014)

2.5.3. Resin Poliester Tak Jenuh

Poliester-poliester tak jenuh termasuk diantara polimer paling umum yang dipakai bersama dengan penguatan serat gelas poliester tak jenuh dipreparasi dari monomer-monomer difungsional, salah satunya mengandung ikatan rangkap dua yang mampu menjalani polimerisasi adisi dalam suatu reaksi ikat – silang berangkai (Sujasman,2009).

Polyester berasal dari reaksi kimia asam dibasa bereaksi secara kondensasi dengan alkohol dihidrat. Karena asam tak jenuh digunakan dengan berbagai cara sebagai bagian dari asam dibasa, yang menyebabkan terdapatnya ikatan tak jenuh dalam rantai utama dari polimer yang dihasilkan, makadisebut 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 (Effendy, 2012).

Resin poliester (Yukalac 157 BQTN-EX) 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 300 kg/mm² dan perpanjangan putus 1,6%.



Gambar 2. 9 Ikatan Kimia Yukalac 157 BTNQ

(Sumber: Sujasman, 2009)

Dalam resin ini, umumnya telah mengandung komposisi campuran antara resin poliester 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.

2.6 Laser He-Ne

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat maupun dapat dilihat dengan matanormal, melalui proses pancaran terstimulasi. Pancaran laser biasanya tunggal, memancarkan foton dalam pancaran koheren. Laser juga dapat dikatakan efek dari mekanika kuantum (Wikipedia).

Laser He-Ne salah satu jenis laser gas yang sering kita jumpai di laboratorium optik dan fotonik. Sifat cahaya laser yang mempunyai tingkat monokromatik tinggi, koheren dan mempunyai sifat cahaya yang sejajar pada jarak yang jauh membuat cahaya laser dapat diaplikasikan untuk berbagai macam penelitian (Kurniawan, 2008)

Perhitungan kemampuan transmisi sampel menggunakan prinsip bahwa transmisi merupakan fungsi dari koefisien serapan massa dan tebal kaca sedangkan pengujian untuk kemampuan transmisi cahaya menggunakan Laser He-Ne. Berikut persamaannya:

$$\text{Transmitasi} = \left(1 - \frac{T - T_0}{T_0}\right) \times 100 \quad (2.12)$$

Dengan T adalah nilai pada luxmeter setelah melewati sampel, dan T_0 adalah nilai pada luxmeter sebelum melewati sampel.

2.7 Luxmeter

Luxmeter merupakan instrument portable untuk mengukur penerangan sebuah jenis fotometer. Lux meter paling sederhana terdiri dari foto sel selenium yang mengubah energi cahaya ke energi dari sebuah arus listrik, yang diukur oleh microammeter pointer-tipe dengan skala dikalibrasi di luxes (Ix). Skala yang berbeda-beda sesuai dengan rentang yang berbeda dari cahaya yang sedang diukur, perubahan skala yang dibuat oleh switch bahwa perubahan hambatan di sirkuit listrik. Misalnya, Iu-16 luxmeter memiliki tiga tentang pengukuran: sampai 25, hingga 100, dan sampai 500 Iux. Iluminansi yang lebih tinggi bisa diukur dengan menggunakan lampiran cahaya menyebar di photocell, yang melemahkan insiden radiasi dengan factor tertentu yang konstan melalui berbagai panjang gelombang. Kurva untuk sensitivitas spektral relatif dari selenium photocell dan mata



Gambar 2. 10 Luxmeter

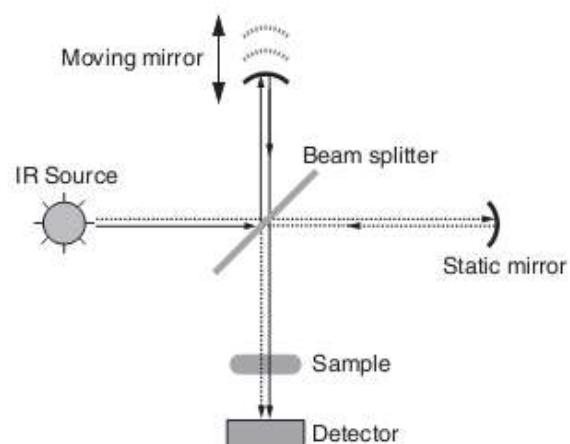
manusia rata-rata.

(Sumber: Wikipedia)

2.8 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Metode FTIR pada prinsipnya adalah teknik spektroskopi yang didasarkan pada terjadinya vibrasi molekul akibat penyerapan energi, yang dalam hal ini adalah sinar infra merah. Penyerapan energi ini akan mengakibatkan molekul (gugus fungsi) bervibrasi dengan berbagai cara yakni, vibrasi ulur (stretch) meliputi vibrasi ulur simetri dan vibrasi ulur asimetri. Selain itu terdapat vibrasi bengkokan (bending) meliputi vibrasi goyangan (rocking), guntingan (scissoring), kibasan (wagging) dan vibrasi pelintiran (twisting) (Utama, 2009).

Instrumen FTIR pada dasarnya bekerja dengan prinsip transmisi tetapi spektrum sampel dicatat fundamental berbeda dari instrumen dispersif dalam dengan berkas infrared berasal dari sumber ke detektor. Bagian dari spektrometer FTIR dibentuk oleh interferometer yang terdiri dari sumber



Gambar 2. 11 Prinsip kerja FTIR

infrared , berkas splitter, dua cermin dan detektor.

(Sumber: Blum, et al., 2011)

Sumber radiasi infrared memancar menuju *beam splitter* dan sebagian diarahkan pada dua cermin. Salah satu cermin diam sedangkan cermin lain bergerak pada kecepatan konstan selama akuisisi data. Berkas infrared terpantul oleh cermin, digabungkan di *beam splitter*, dan kemudian melewati sampel dan mencapai detektor yang mencatat semua panjang gelombang dalam infrared pada saat yang sama. Ketika dua berkas yang direfleksikan oleh cermin bergabung kembali (koheren), mereka telah melakukan perjalanan jarak yang berbeda dan karena itu rekombinasi mengarah ke interferensi konstruktif dan destruktif. Pola yang dihasilkan disebut sebagai interferogram. Terekam pada detektor setelah berkas digabungkan, diolah menggunakan Transformasi Fourier dari spektrum sampel infrared. Data direkam oleh instrumen kemudian diolah oleh komputer yang melakukan sebuah Fourier transform untuk tambahan interferogram menjadi spektrum infrared (Blum dan John, 2011). Dengan sifatnya tersebut, FTIR dapat memberikan informasi tentang jenis gugus fungsi dalam sebuah senyawa.

2.8.1. Interaksi *Van der Waals*

Fourier Transform Infrared dapat digunakan untuk memberi informasi interaksi kecil seperti menjelaskan interaksi antar atom dari suatu material,

yang disebut sebagai interaksi van der Waals (vdW). Jika energi sinar inframerah belum terganggu oleh partikel lain adalah

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.13)$$

Dengan h adalah konstanta Planck $6,63 \times 10^{-34}$ Js, c adalah kecepatan cahaya $3,14 \times 10^8$ m/s dan λ adalah panjang gelombang akibat berkas sinar infra merah, hubungan perubahan energi menyebabkan satu pergeseran kecil panjang gelombang adalah

$$|\Delta E| = hc \Delta \kappa \quad (2.14)$$

Dimana $\kappa = 1/\lambda$ dan $\Delta \kappa$ adalah perubahan bilangan gelombang sebelum dan sesudah pendoppingan (Masturi dan Sunarno, 2014).

Persamaan Lenard-Jones digunakan untuk untuk menyelesaikan interaksi vdW. Persamaan Lenard-Jones diekspresikan dengan persamaan 2.

$$U(r) = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] \quad (2.15)$$

Dimana $U(r)$ adalah energy potensial antar molekul atau E vdW, ε adalah energy dimana r dalam jarak kesetimbangan, dan σ adalah jarak partikel dimana energi vdW sama dengan nol dengan satuan Å (Kyo Oh, 2012). Dari persamaan 2. dan 2. Didapatkan satu analisa baru dengan asumsi pergeseran kecil pada pita yang teramati pada FTIR dan selanjutnya didapatkan nilai jarak antar atom dari komposit, terutama dalam *filler* dengan polimernya (Masturi, 2014).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang. Proses pembuatan komposit polyester timbal dilakukan di Lab. Workshop jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang. Sedangkan eksposi sinar-X akan dilakukan di Lab. Medik yang terletak di lantai 3 Lab. Fisika Universitas Negeri Semarang. Analisis eksposi sinar-X dengan menggunakan *software* Matlab. Waktu penelitian pada periode April-Agustus 2015.

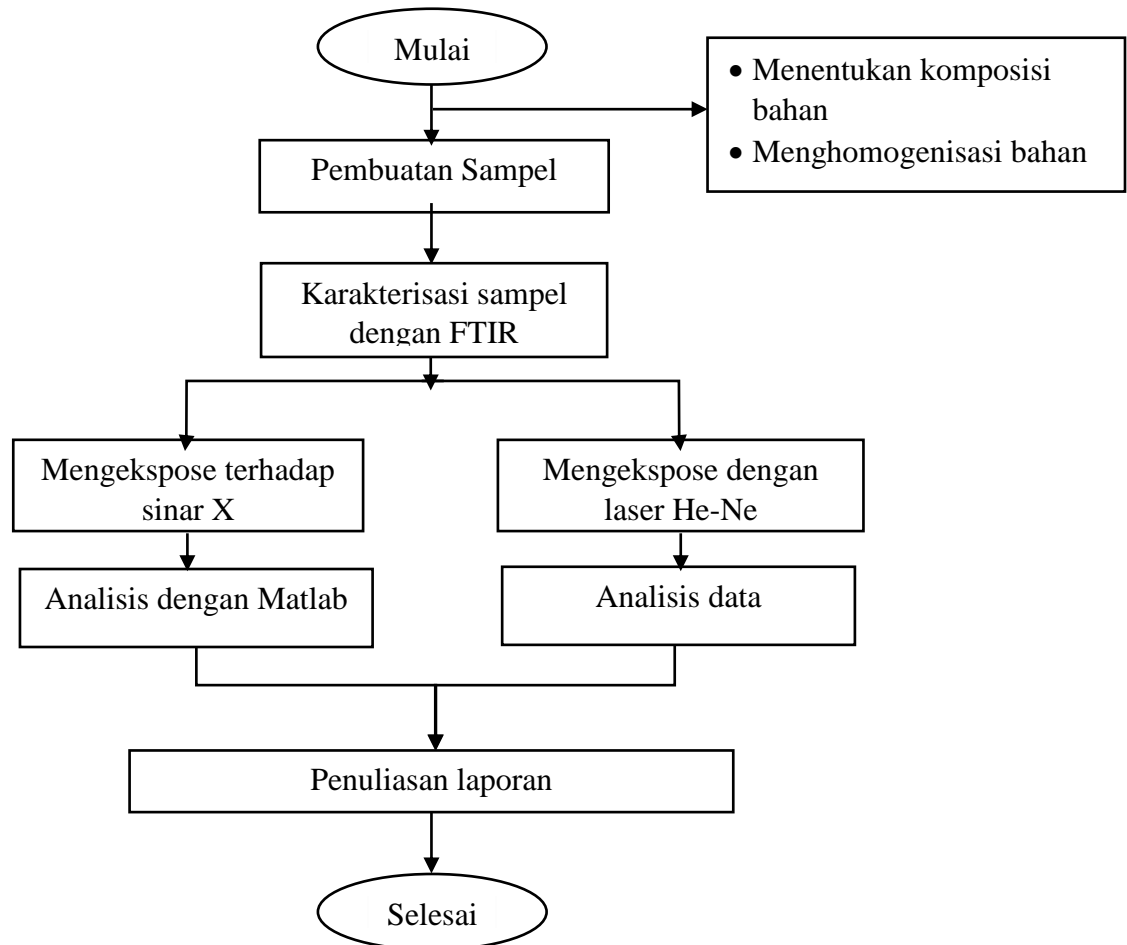
3.2. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan bahan polyester resin Yukalac 157 BTQN, katalis MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida) dan Timbal Asetat $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$. Sedangkan alat-alat yang digunakan meliputi cetakan dari lembaran alumunium, *magnetic stirer*, sistem radiografi digital yang ada di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang, alat karakterisasi FTIR dan komputer jinjing merk Asus tipe X201-e beserta *software* Matlab R2009a.

3.3. Metode Penelitian

- 1) Metode yang digunakan adalah metode eksperimen langsung dengan membuat perisai radiasi berbahan polyester *didopping* timbal dan mengekspos terhadapnya dengan kV 50, MA 16 dan selama 0,125 s
- 2) Objek penelitian adalah komposit polyester timbal dengan variasi konsentrasi dan variasi uketebalan komposit.
- 3) Variable yang digunakan dalam penelitian ini adalah
 - a. Variable bebas :
 1. Komposisi massa antara resin dengan timbal asetat (%)
 2. Ketebalan komposit polyester timbal (cm)
 - b. Variable kendali :
 1. Besar nilai kV pesawat sinar-X
 2. Besar nilai mA pesawat sinar-X
 3. Besar waktu ekspose (s)
 4. Jarak pengukuran transmitansi (cm)

3.4. Tahapan Penelitian



Gambar 3. 1 Skema Penelitian

3.4.1. Membuat Komposit Poliester Timbal

Berikut langkah langkah pembuatan komposit polyester timbal:

- a. Pembuatan cetakan terbuat dari lempengan alumunium yang di bentuk kubus dengan ukuran 5x0.5x5 cm sebanyak enam buah serta cetakan alumunium dengan variasi ketebalan yaitu 0,7;0,9;1,1;1,3 dan 1,5 cm

- b. Pembuatan komposit polyester timbal dengan perbandingan polyester resin dengan timbal seperti dalam Tabel. 3.1 dan komposit polyester resin timbal dengan variasi ketebalan seperti dalam Tabel. 3.2.

Tabel 3.1 Komposisi sampel variasi konsentrasi timbal

No	Sampel	Resin Akrilik	Timbal
1	A1	100%	3,5%
2	B1	100%	3,75%
3	C1	100%	4%
4	D1	100%	4,25%
5	E1	100%	4,5%

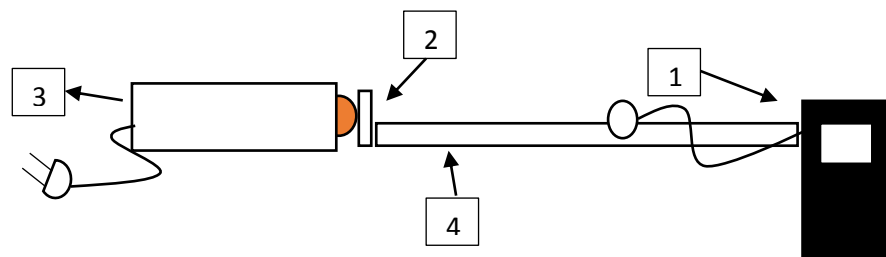
Tabel 3.2 Sampel Variasi ketebalan

No	Sampel	Tebal (cm)
1	A2	0.5
2	B2	0.7
3	C2	0.9
4	D2	1.1
5	E2	1.3
6	F2	1.5

- c. Menambahkan katalis
- d. Meletakkan campuran polyester timbal diatas magnetic stirer agar gelembung naik ke atas pada temperature 100° C selama 5 menit.
- e. Mengeluarkan campuran polyester-timbal dari cetakan.

3.4.2. Ekspose terhadap Laser He-Ne

Pengujian nilai transmitansi terhadap cahaya, menggunakan laser He-Ne sebagai sumber cahaya. Sampel diletakan didepan laser kemudian diukur masing-masing intensitasnya. Sebelumnya nilai intensitas laser diukur tanpa dihalangi sampel. Sampel diukur intensitasnya dengan variasi jarak 10-60 cm



Keterangan gambar:

1. Luxmeter.
2. Material bahan
3. Laser He-Ne
4. Mistar

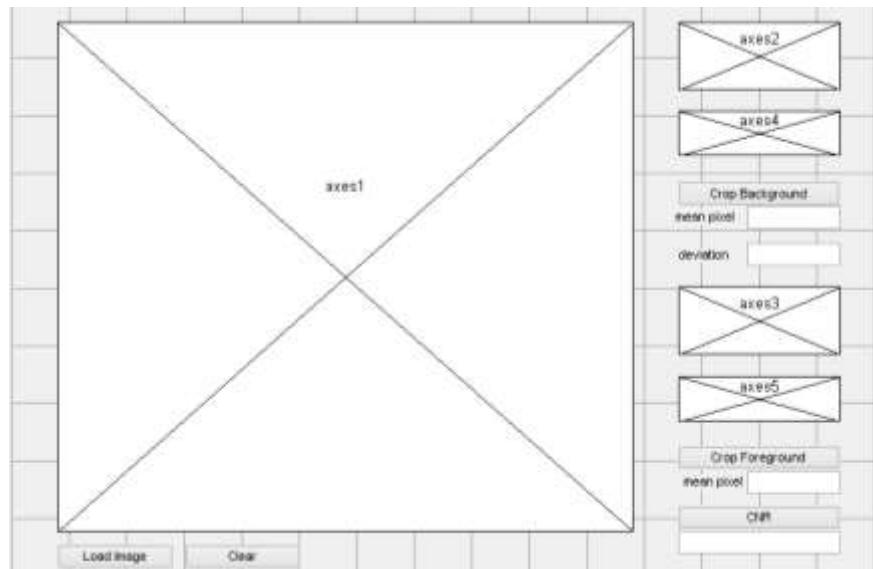
Gambar 3. 2 Skema pengujian transmitansi cahaya dengan *range* 10 cm.

3.4.3. Ekspose terhadap sinar-X

Sampel dieksposi menggunakan sistem radiografi digital yang ada di Lab. Fisika Universitas Negeri Semarang. Dengan nilai kuat arus 45 kV dan waktu 0.1 detik dan jarak pemotretan (FFD) sebesar 100 cm.

3.4.4. Analisis nilai koefisien atenuasi dengan Matlab

Hasil ekspose menggunakan radiografi digital berupa citra digital. Kemudian dianalisis menggunakan *software* GUI dengan Matlab 2009.



Gambar 3. 3 Tampilan software GUI pada matlab

Tampilan GUI sebagai berikut

Tampilan GUI terdiri dari lima perintah utama yaitu:

a) Tombol *load image*

Tombol ini berisi perintah untuk memanggil atau menampilkan citra yang akan di uji pada axes 1

b) Tombol *clear*

Tombol yang digunakan untuk menghapus semua citra pada bagian axes 1 hingga axes 5 serta menghapus nilai uji yang tertera pada bagian *mean pixel, deviation, dan CNR*

c) Tombol *crop background*

Tombol yang digunakan untuk memotong sebagian kecil citra *background* kemudian citra hasil pemotongan akan ditampilkan pada bagian axes 2, hasil histogram pada axes 2 akan ditampilkan pada axes 3 dan nilai *mean background* akan ditampilkan

d) Tombol *crop foreground*

Tombol yang digunakan untuk memotong sebagian kecil citra *foreground* kemudian citra hasil pemotongan akan ditampilkan pada bagian axes 2, hasil histogram pada axes 2 akan ditampilkan pada axes 3 dan nilai *mean foreground* akan ditampilkan

3.4.5. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi spektrum transmitansi menggunakan FTIR tipe frontier FT –NIR/MIR spectrometers L1280034 bertujuan untuk melihat perbedaan gugus fungsi yang terkandung dalam hasil sampel sebelum dan sesudah didopping timbal asetat.



Gambar 3. 4 Alat *Fourier Transform Infrared*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengamatan Sampel

Penelitian ini komposit poliester timbal dicetak dengan bentuk pelat berbahan alumunium dengan 6 sampel masing masing variasi. Dibuat pula sampel dengan komposisi 100% poliester untuk membuktikan adanya perbedaan kenaikan atau penurunan koefisien atenuasi (μ) terhadap sampel komposisi poliester timbal.

Pengamatan awal sampel dilakukan setelah sampel selesai dibuat. Bentuk pengamatan dan hasil pengamatan sampel dengan variasi konsentrasi timbal ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Pengamatan pada sampel dengan konsentrasi yang berbeda

	Gelembung udara	Timbal berada dibawah (jatuh)	Kejernihan
A	Terlihat	Tidak	Jernih
B	Terlihat	Tidak	Jernih
C	Terlihat	Tidak	Agak buram
D	Terlihat	Tidak	Agak buram
E	Terlihat	Tidak	Buram

Terlihat pada Tabel 4.1 bahwa komposit yang sesuai dan baik

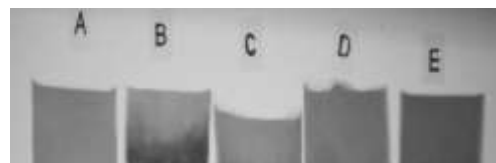


Gambar 4. 1 Sampel variasi konsentrasi (a) hasil ekspose dengan radiografi digital (b) tampak kasat mata

digunakan sebagai perisai tembus pandang adalah sampel B dengan komposisi timbal asetat 3,5%. Hal ini dikarenakan dengan tingkat kejernihan dari semua sampel.

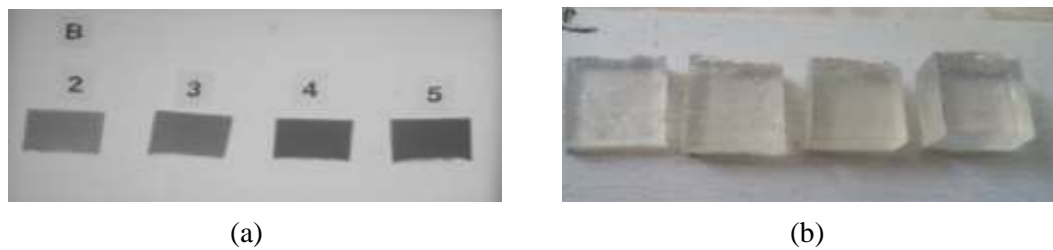
Menurut Mashuri (2007), gelembung udara pada poliester dapat dihilangkan dengan cara dipanaskan pada suhu 100° Celcius selama satu jam. Namun karena proses pengerasan terjadi lebih cepat ketika dipanaskan, sehingga gelembung udara yang seharusnya naik ke atas dan keluar terjebak didalam poliester. Hal ini sesuai dengan hokum Arrhenius bahwa semakin tinggi suhu, kecepatan reaksi semakin tinggi menyebabkan konversi juga semakin tinggi sebelum tercapai kesetimbangan termodinamika (Hasfita *et al.*, 2013).

Dari Gambar 4.2 hasil ekspose menggunakan sinar-X, diketahui sampel A, B, C dan D didapati warna yang lebih pekat dibagian bawah sampel. Hal ini terjadi dikarenakan komposit polyester timbal tidak



Gambar 4. 2 Sampel dengan konsentrasi ketebalan yang gagal.

dipanaskan pada saat proses pencampuran polyester dengan timbal. Hal tersebut menyebabkan proses pengerasan pun melambat sehingga mengakibatkan timbal turun kebawah sedangkan polyester resin belum mengikat timbal secara kuat. Massa jenis timbal yang lebih berat dibandingkan poliester tersebut, yaitu $3,3 \text{ g/cm}^3$ densitas timbal asetat dan $1,215 \text{ g/cm}^3$ untuk densitas polyester.



Gambar 4. 3 Sampel variasi tebal yang diujikan (a) setelah diekpose dengan radiografi digital (b) tampak kasat mata

Sampel pada Gambar 4.2, tidak digunakan pada pengujian selanjutnya karena merupakan sampel gagal. Gambar 4.3 merupakan sampel yang digunakan pada pengujian selanjutnya. Hal ini dikarenakan ketika sampel diekpose, sampel pada Gambar 4.3 tidak didapati timbal menumpuk di bagian bawah sampel.

4.2 Analisis citra menggunakan dengan Matlab

Pada penelitian ini menggunakan kamera canon EOS 60D dengan ISO 25600 untuk menghasilkan citra digital. Kamera diletakan pada tabung kedap cahaya dan pada bagian atas tabung di beri kaca timbal yang berfungsi untuk melindungi dari radiasi sinar-X. Pada bagian depan tabung diletakan

intensifying screen sebagai pengubah sinar-X menjadi cahaya tampak. Menurut Fahmi (2008) Faktor yang mempengaruhi kualitas radiograf antara lain faktor eksposi yang terdiri atas 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. Sampel di ekspose dengan tegangan 50 kV dan 0.1 detik.

Menurut Susilo (2013), pengukuran nilai Densitas Optik (DO) menggunakan *Grey Level* (GL) dapat dilakukan seperti pada penentuan nilai DO dengan intensitas sinar-X I_i dan I_t , sehingga nilai DO menggunakan GL. Dengan GL_i adalah nilai GL pada radiograf tanpa melalui obyek serta nilai GL_t nilai GL setelah melalui obyek.

Agar citra yang mengalami gangguan mudah diinterpretasi (baik oleh manusia maupun mesin), citra tersebut perlu dimanipulasi menjadi citra lain yang kualitasnya lebih baik (Munir, 2004). Sehingga diperlukan suatu sistem pengolah citra (*image processing*) untuk menghasilkan citra digital yang menyerupai citra analognya tetapi juga mampu untuk melakukan pengolahan lebih lanjut untuk kepentingan medis dan interpretasi pengamat terhadap suatu obyek dapat lebih teliti (Nugroho *et al.*, 2012).

Dengan menggunakan perangkat lunak berbasis Matlab hasil rekayasa, citra radiograf keluaran sistem radiografi 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 Step 1 s.d 11. 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 (Wahyu, 2013).

4.3 Analisis Sampel Poliester dengan Variasi Konsentrasi Timbal

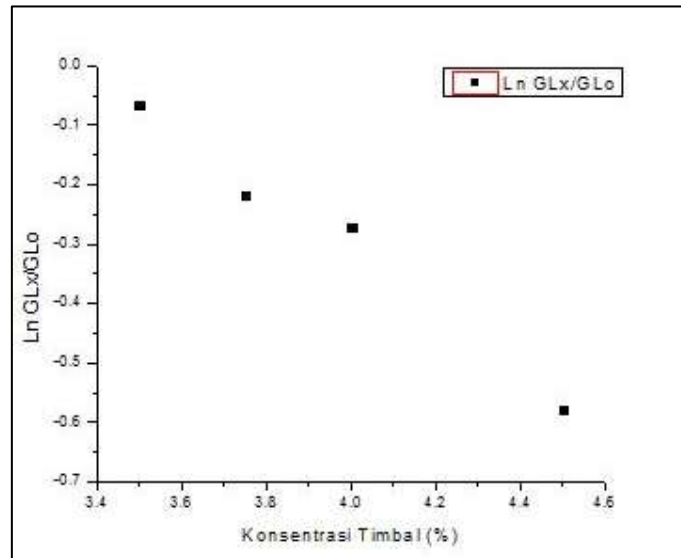
4.3.2 Analisis Absorbansi Sampel Terhadap Sinar-X

Citra diolah menggunakan *software* Matlab untuk mengetahui tingkat keabuan GL yang dimiliki citra. Rincian perhitungan nilai GL terhadap koefisien atenuasi dijelaskan dalam bagian lampiran.

Dari citra yang didapatkan dari hasil ekspose sinar-X dengan tegangan 50 kV, dilakukan pembacaan nilai GL melalui *software* Matlab, dilakukan proses *cropping* dari masing-masing citra. Proses *cropping* dilakukan pada tengah objek, karena pada tengah objek tegak lurus dengan tabung sinar-X. Selain *cropping* pada tengah objek dilakukan pula *cropping* pada luar objek. Pembacaan ini dimaksudkan sebagai pembacaan nilai *background*, atau nilai densitas yang tidak tertutup sampel (GL_t).

Dapat dilihat pada Gambar 4.4, nilai $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$ menurun seiring bertambahnya konsentrasi timbal. Hal ini mengindikasikan bahwa seiring bertambahnya konsentrasi timbal maka sinar-X yang di transmisikan oleh sampel semakin sedikit begitu pun sebaliknya, ketika konsentrasi timbal

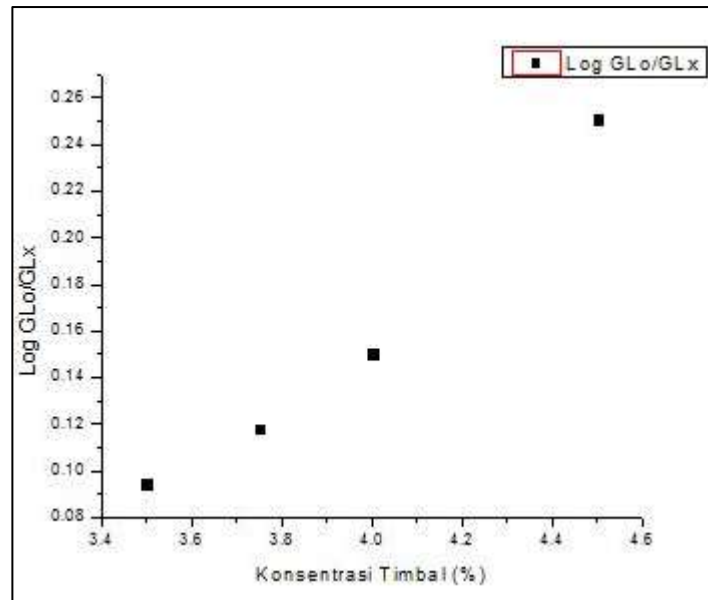
menurun maka sinar-X yang ditransmisikan sampel semakin banyak. Dapat disimpulkan bahwa timbal berhasil menyerap sinar -X yang datang.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan Ln GL_x/GL_o dengan konsentrasi timbal

Pada Gambar 4.5, tertera nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ yang semakin bertambah seiring pertambahan konsentrasi timbal yang di *dopping* pada polyester. Nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ serupa dengan nilai densitas optik yang merupakan tingkat kehitaman pada sampel. Pada radiografi digital semakin tinggi nilai densitas optik maka semakin tinggi pula nilai koefisien atenuasi. Hal ini mengindikasikan jika ternyata sampel campuran polyester timbal mampu menahan eksposi radiasi sinar-X dengan tegangan sebesar 50 kV. Hal ini dapat terlihat terjadi kenaikan koefisien atenuasi (μ) setiap penambahan timbal. Pada sampel 100% poliester resin terlihat koefisien atenuasi sebesar $0,1323 \text{ cm}^{-1}$ dan ketika pada penambahan timbal 3,5% kenaikan koefisien atenuasi terlihat menjadi $0,4358 \text{ cm}^{-1}$, pada penambahan timbal 3,75% koefisien atenuasi naik menjadi $0,5433$

cm^{-1} , penambahan timbal 4% koefisien atenuasi naik menjadi $0,6913\text{cm}^{-1}$, dan



Gambar 4. 5 Grafik hubungan $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ dengan konsentrasi timbal

terakhir pada penambahan timbal 4,5% nilai koefisien atenuasi naik menjadi $1,1561 \text{ cm}^{-1}$.

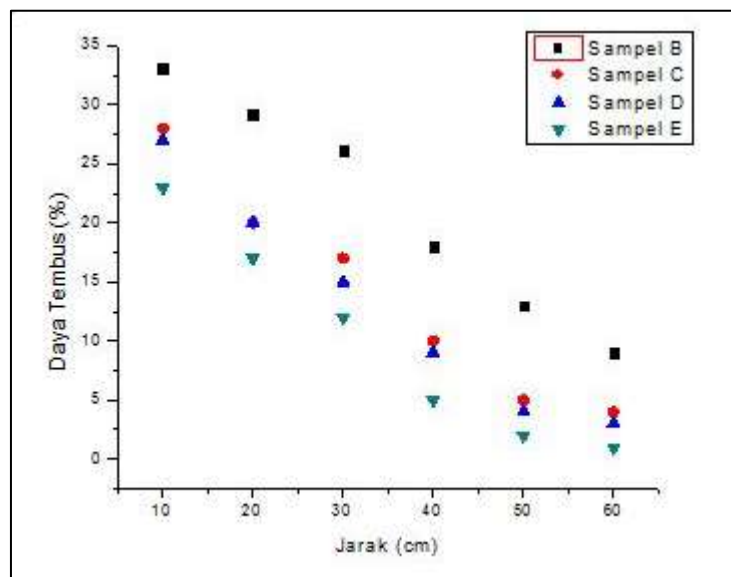
Sampel A yang merupakan sampel 100% polyester resin tidak dimasukkan kedalam grafik, hal ini dikarenakan sampel A hanya digunakan sebagai pembanding untuk melihat perubahan sampel ketika di dopping timbal asetat. Dalam kenaikan koefisien atenuasi terlihat tidak terlalu signifikan, hal ini dikarenakan penambahan konsentrasi timbal yang tidak terlalu signifikan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Tantra (2014), penambahan timbal dilakukan pada konsentrasi 10%, 20%, dan 30%, namun

sampel yang dihasilkan tidak terlalu jernih, sedangkan dibutuhkan perisai radiasi tembus pandang sebagai pengganti kaca timbal.

4.3.2. Pengujian Kemampuan Transmisi Sampel Terhadap Cahaya Tampak

Pengukuran kemampuan transmisi terhadap cahaya tampak sampel dilakukan pada sampel dengan variasi presentase timbal dengan ketebalan 0.5 cm maupun dengan variasi ketebalan. Laser sebelum dihalangi komposit diukur intensitasnya sebagai I_0 , kemudian dipasang komposit poliester timbal dan diukur intensitasnya sebagai I .

Data data intensitas tersebut diolah kemudian didapatkan nilai transmisi. Data intensitas dari sampel yang dipapar menggunakan laser He-Ne ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik hubungan antara tebal sampel dengan transmisi cahaya

Dari Gambar 4.6 didapatkan hasil bahwa adanya penurunan nilai dayatebus sampel seiring dengan bertambahnya konsentrasi timbal dalam poliester timbal. Dari data terlihat penurunan terbesar terdapat pada sampel F dengan konsentrasi timbal sebesar 4,75%, hal ini terjadi karena pada sampel F cahaya mengalami penghamburan yang cukup besar karena sampel F memiliki kandungan timbal yang lebih pekat. Menurut Young (2003) Salah satu sifat cahaya sebagai gelombang adalah mengalami penghamburan cahaya oleh medium perantara yang besar kecilnya penghamburan itu tergantung dari kandungan material yang dimiliki oleh medium perantara tersebut. Detail perhitungan transmitansi cahaya, dijelaskan dalam bagian lampiran.

4.4 Analisis Sampel Poliester Resin dengan Variasi Ketebalan Sampel

4.4.2 Analisis Absorbansi Sampel Terhadap sinar-X

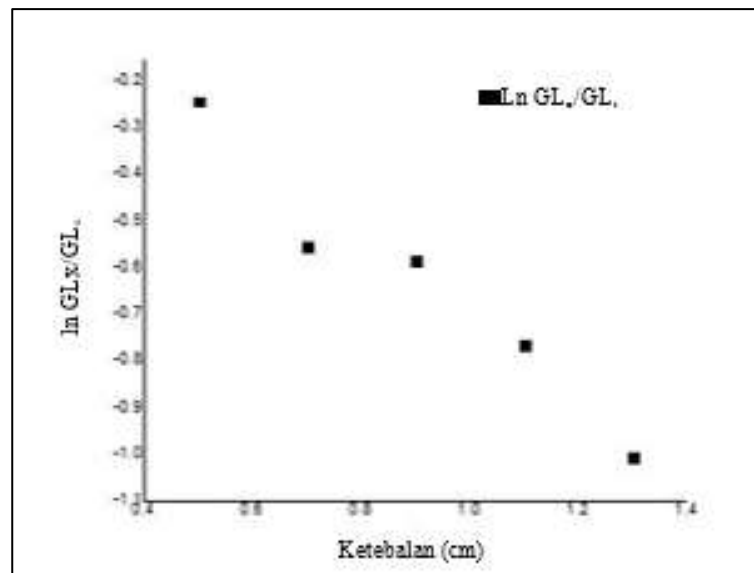
Sampel dengan variasi ketebalan dengan konsentrasi timbal sebesar 3,5% di papir menggunakan sinar-X dengan tegangan 50 kV, arus 16mA, waktu paparan 0,125s dan FFD sebesar 100 cm. Menurut Whitley (2005) bahwa pada teknik radiografi jaringan lunak digunakan variasi nilai tegangan berkisar antara 45 sampai 50 kV untuk menghasilkan nilai



Gambar 4. 7 Citra radiograf digital

kontras radiografi yang masih dapat diterima oleh mata.

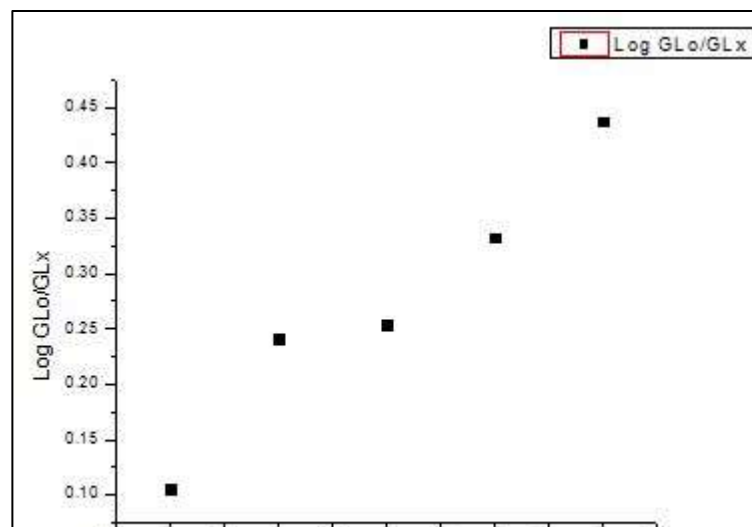
Menurut Bushong (2001) semakin besar densitas optik maka semakin tinggi pula kontras citra, sehingga dapat disimpulkan citra dengan tingkat keabuan sampel yang tinggi memiliki densitas optik yang tinggi. Pada Gambar 4.9 dapat terlihat sampel B5 memiliki kontras yang tinggi dibanding dengan sampel



Gambar 4. 8 Grafik hubungan $\ln GL_x/GL_o$ dengan tebal sampel lain. Pengukuran nilai DO pada radiografi digital menggunakan *grey level* (GL). Pada variasi ketebalan, pola grafik cenderung linier. Pada Gambar 4.9 dapat terlihat semakin tebal sampel maka semakin tinggi tingkat keabuan citra, berlaku untuk sebaliknya semakin tipis sampel maka semakin rendah tingkat keabuan sampel.

Pada Gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$ dengan tebal sampel. Terlihat hubungan antara keduanya berbanding terbalik, semakin tebal objek maka semakin kecil nilai $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$, dan sebaliknya jika sampel semakin tipis maka nilai $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$ semakin tinggi. Hal ini dapat membuktikan jika nilai $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$ dapat menunjukkan transmitansi sinar-X terhadap sampel.

Dari densitas optik yang didapatkan, dapat diperoleh nilai koefisien atenuasi. Pada Gambar 4.9 Terlihat nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ seiring bertambah dengan semakin tebal sampel polyester timbal, begitu pun sebaliknya nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ menurun dengan berkurangnya ketebalan sampel. Hal ini menjelaskan bahwa nilai densitas optik bertambah seiring bertambahnya tebal sampel. Pada bagian *background* pada radiografi digital lebih terang dibanding objek, sedangkan pada radiografi konvensional maupun *computed radiografi* (CR)

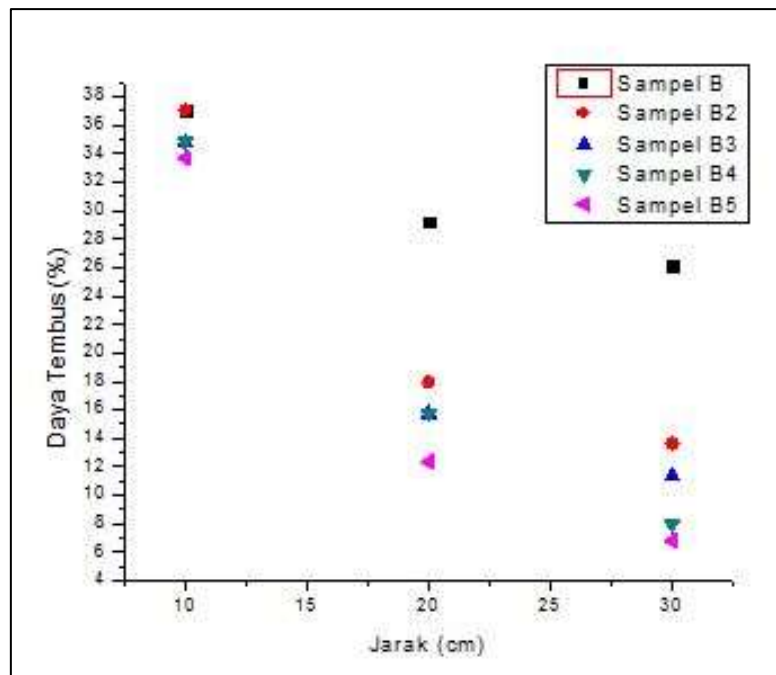


Gambar 4.9 Grafik hubungan $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ dengan tebal sampel

background lebih gelap dibanding citra objek. Telah diketahui nilai koefisien atenuasi sampel dengan ketebalan berbeda adalah $0,612 \pm 0,049 \text{ cm}^{-1}$ dengan keseksamaan 91,9%.

4.4.2 Analisis Kemampuan Transmisi Sampel Terhadap Cahaya Tampak

Metode pengukuran transmisi cahaya sampel dengan variasi ketebalan sama dengan pengukuran transmisi cahaya dengan variasi konsentrasi timbal. Variasi ketebalan diperoleh menggunakan konsentrasi timbal pada sampel A, yaitu 3,5%. Hal ini dikarenakan poliester timbal timbal dengan konsentrasi yang lebih tinggi terlalu pekat. Pada Gambar 4.12



Gambar 4. 10 Grafik hubungan Transmisi dengan Jarak

menunjukkan kemampuan transmisi sampel dalam bentuk grafik.

Pada pengambilan data uji transmisi cahaya dengan variasi ketebalan, hanya dilakukan tiga kali. Hal ini dikarenakan pada jarak ke 40 cm, cahaya sudah tidak dapat menembus sampel melainkan banyak dihamburkan. Sehingga luxmeter sudah tidak mampu menangkap intensitas cahaya laser He-Ne yang keluar menembus sampel.

Dapat terlihat dalam grafik, pada jarak 10 cm transmisi masing masing sampel secara berurutan dari ketebalan yaitu 37.07% , 34.83%, 34.83%, 33.70% dan 32.58%. Hal ini menjelaskan bahwa hubungan linier antara transmisi cahaya dengan tebal sampel dengan kecenderungan menurun seiring bertambahnya tebal sampel.

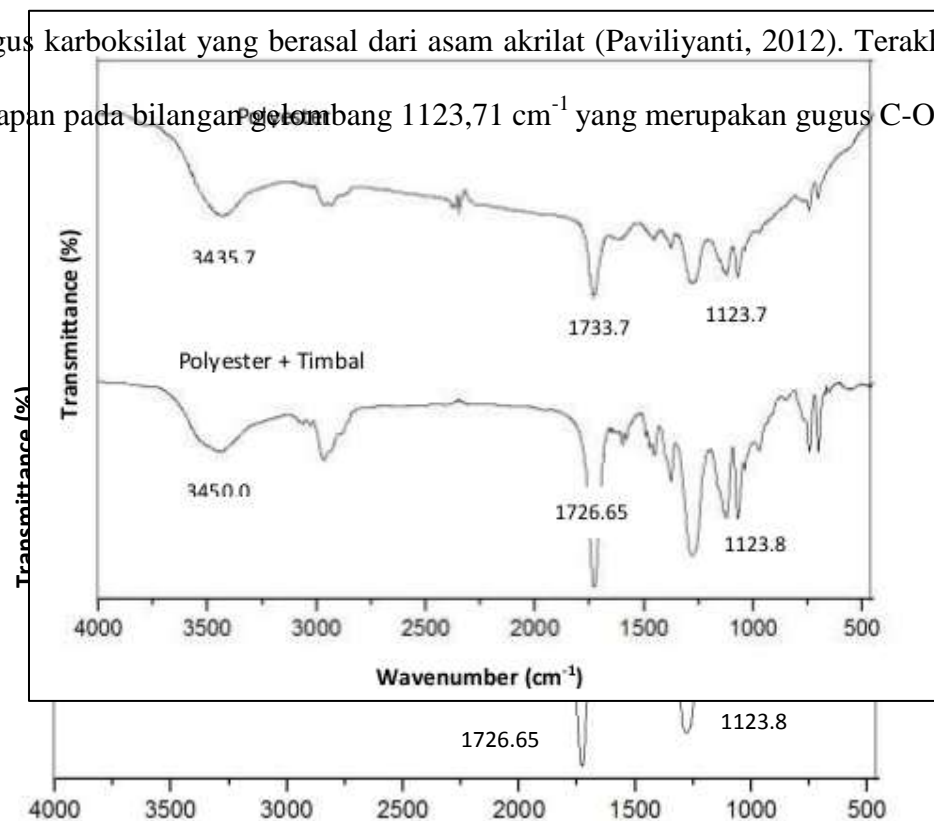
4.5 Analisis FTIR

Pada pengujian ini menggunakan gelombang inframerah untuk mengetahui gugus fungsi dari suatu senyawa. *Fourier Transform Infrared* (FTIR) juga dapat dipergunakan untuk menganalisis interaksi kecil antar atom dari suatu material, lebih dikenal dengan interaksi Van der Waal (vdW) (Masturi dan Sunarno, 2015). Interaksi dapat diketahui dengan mengetahui perubahan energi ketika atom lain mendekat.

Sampel yang diujikan yaitu timbal asetat, polyester resin dan komposit polyester timbal. Pada sampel timbal asetat berbentuk serbuk sehingga membutuhkan Kalium Bromida (KBr) sebagai media yang kemudian digerus

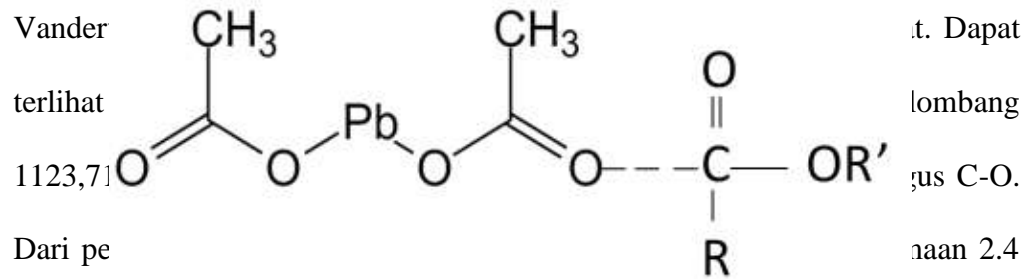
dan di press sehingga berbentuk pellet bening menyerupai kaca. Sampel polyester resin dan komposit polyester timbal berbentuk padatan, sehingga tidak perlu dijadikan pelet dan penambahan KBr.

Terlihat pada Gambar 4.11 beberapa cekungan (*peak*) dari spectra polyester menunjukkan interaksi gelombang inframerah dengan partikel yang ada dalam sampel. Pada beberapa cekungan khususnya pada gelombang $3435,77 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus O-H dan pada bilangan gelombang $1733,79 \text{ cm}^{-1}$ dapat terlihat adanya uluran C=O yang berasal dari amida dan gugus karboksilat yang berasal dari asam akrilat (Paviliyanti, 2012). Terakhir serapan pada bilangan gelombang $1123,71 \text{ cm}^{-1}$ yang merupakan gugus C-O.



Gambar 4. 11 Spektrum FTIR dari Poliester timbal dan Poliester resin

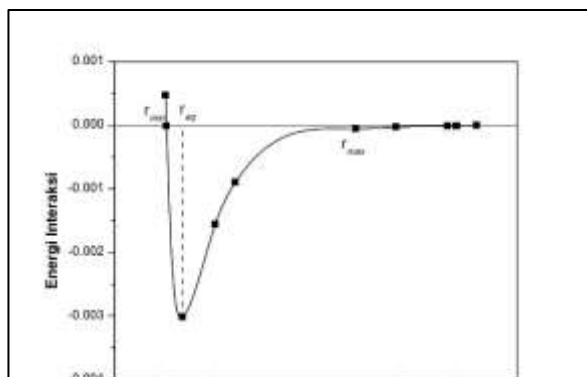
Setelah penambahan timbal asetat, terlihat beberapa pergeseran pada rantai polimer polyester. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya interaksi



sebesar $1,36 \times 10^{-5}$ eV. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya interaksi atom C pada gugus polimer dengan atom O pada rantai timbal asetat.

Gambar 4. 12 Interaksi antara karbon dari gugus ester dengan oksigen dari grup timbal asetat

Dari persamaan Lorentz-Berthelot dapat diketahui nilai parameter σ dan ϵ . σ merupakan jarak antar atom ketika energy vdW adalah nol dan ϵ adalah energy ketika atom berada di jarak kesetimbangan. Nilai parameter $\sigma_{cc} = 3,47 \text{ \AA}$ dan $\epsilon_{cc} = 2,86 \times 10^{-3} \text{ eV}$ sedangkan untuk nilai parameter $\sigma_{oo} = 3,11 \text{ \AA}$ dan $\epsilon_{oo} = 3,70 \times 10^{-3}$. Dengan menggunakan persamaan Lennard-Jones



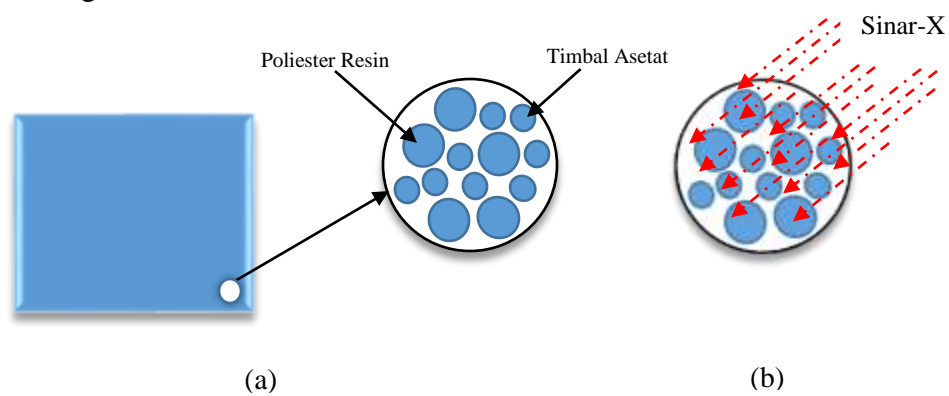
Gambar 4. 13 Gambaran interaksi atom C pada gugus ester dengan atom O pada timbal asetat

dapat diketahui jarak kesetimbangan, jarak minimum serta jarak maksimum antar atom tersebut yaitu sebesar 3,69 Å, 3,29 Å dan 10,19 Å diilustrasikan pada Gambar 4.14.

Telah diketahui dalam perhitungan bahwa panjang gelombang dari sinar-X dengan kV 50 adalah 0,24 Å. Nilai tersebut lebih kecil dibanding jarak antar atom yaitu 3,69 Å, 3,29 Å dan 10,19 Å. Jika panjang gelombang sinar-X lebih kecil dibanding dengan jarak antar atom maka hal tersebut tidak akan menyebabkan terjadinya difraksi yang menyebabkan panjang gelombang dapat lolos dari celah antar atom tersebut.

4.6. Analisis Rapat Luas Atom

Saat berkas sinar-X keluar dari kolimator, berkas sinar-X ada yang lolos melewati jarak antar partikel dan ada juga yang terserap oleh molekul yang tersusun oleh $\text{Pb}((\text{CH}_3\text{COO})_2)$ dan poliester resin. Kerapatan atom sampel mempengaruhi banyak sedikitnya sinar-X yang lolos melewati komposit polyester timbal. Pada Gambar 4.14 dapat diilustrasikan kerapatan atom dengan sederhana.



Gambar 4. 14 Interaksi antar partikel (a) rapat atom (b) interaksi rapat atom terhadap sinar-X

Foton dalam melewati materi tidak dapat kehilangan energi secara kontinyu sepanjang jejak yang dilalui. Pada energi rendah, proses yang terjadi adalah efek fotolistrik. Sinar-X yang digunakan pada percobaan ini menggunakan nilai kV 50 nilai tersebut sebanding dengan energi 50 keV, dalam hal ini energi tersebut tergolong rendah. sinar-X menumbuk salah satu elektron dan memberikan seluruh energinya sehingga elektron tersebut lepas dari lintasannya. Elektron yang lepas dari lintasannya disebut *photoelectron* dan memiliki energy sebesar energy foton yang mengenainya. Dalam bidang radiodiagnostik, semakin besar jumlah absorpsi foton sinar-X dan perbedaan nomor atom objek maka semakin besar kontras radiograf.

Semakin rapat atom maka semakin sedikit sinar-X yang di transmisikan oleh sampel. Koefisien atenuasi merupakan fraksi foton yang melewati absorber per satuan ketebalan absorber. Semakin rapat atom maka semakin banyak foton yang berinteraksi dengan sampel dan semakin tinggi pula nilai koefisien atenuasi dari sampel yang menyebabkan semakin besar nilai kontras antara objek dengan *background*. Luas rapat atom dapat diketahui dengan mengetahui luas permukaan molekul per daerah yang ditinjau, didapatkan sebanyak $1,93 \times 10^6$ atom/ μm^2 .

4.7. Pembahasan Umum

Nilai koefisien atenuasi pada sampel yang telah dibuat dapat dibandingkan dengan nilai *lead equivalent*. *Lead equivalent* menyatakan tingkat kesetaraan nilai koefisien atenuasi sampel dibanding dengan nilai koefisien atenuasi pada timbal.

Menurut Kristiyanti (2010), sifat radiasi γ ini sama dengan radiasi sinar-X, maka tabel 4.2 ini dapat dipergunakan pula untuk radiasi sinar-X.

Tabel 4. 2 Koefisien serapan massa μ/ρ dan massa jenis ρ untuk energy 50kV

Nama Unsur	μ/ρ cm ³ /gram	ρ gram/cm ³
Pb	7,170	11,34

Pada eksposi menggunakan radiografi digital digunakan tegangan sebesar 50 kV dan ketebalan sampel yaitu 0,5 cm. Pada sampel konsentrasi 3,5% ekuivalen dengan timbal ketebalan 0,0026 cm. Sampel C dengan konsentrasi timbal sebesar 3,75% didapati ekuivalen dengan timbal sebesar 0,0033 cm, kemudian sampel D dengan konsentrasi 4% ekuivalen dengan timbal setebal 0,0042 cm, serta sampel dengan konsentrasi 4,5% ekuivalen dengan timbal setebal 0,071 cm.

Selain nomor atom dari suatu bahan penyerapan sinar-X diduga dipengaruhi oleh kerapatan atom dari suatu sampel. Masih dibutuhkan komposisi sampel yang tepat untuk membuat perisai radiasi tembus pandang. Pemilihan bahan sampel juga turut menjadi pertimbangan untuk perisai

radiasi tembus pandang. Dari penelitian terlihat sampel cukup mampu menahan radiasi sinar-X dengan tegangan 50kV.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Komposit polyester timbal dengan komposisi 3,5% timbal asetat dan tebal 0.5 cm merupakan komposit optimum yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti kaca timbal.
2. Bertambahnya konsentrasi timbal dan tebal komposit membuat kecenderungan menurunnya nilai $\ln \frac{GL_x}{GL_o}$ yang merupakan kemampuan transmisi sampel terhadap sinar-X. dan Nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ bertambah seiring dengan pertambahan konsentrasi timbal dan ketebalan sampel, sehingga menunjukkan semakin besar kontras citra radiograf. Nilai $\text{Log} \frac{GL_o}{GL_x}$ merupakan absorbansi sampel. Pertambahan konsentrasi timbal dan ketebalan sampel memiliki hubungan linier dengan persentase nilai transmisi sampel terhadap cahaya tampak. Diperoleh sampel B dengan konsentrasi timbal 3,5% memiliki kemampuan meneruskan cahaya tampak tertinggi yaitu sebesar 33%.
3. Telah diketahui jarak kesetimbangan, jarak tolak menolak dan jarak tarik-menarik antar atom C--O lebih besar dibanding panjang

gelombang sinar-X yaitu sebesar 3,69 Å, 3,29 Å dan 10,19 Å. Sedangkan luas rapat atom sebesar $1,93 \times 10^6$ atom/ μm^2 hal ini memungkinkan panjang gelombang sinar-X sulit untuk melewati komposit polyester timbal karena banyaknya fraksi foton yang berinteraksi dengan materi.

5.2. Saran

1. Mengacu pada hasil penelitian dan analisis, metode pembuatan polyester timbal sebaiknya diperbaiki untuk mendapatkan hasil yang homogen sempurna.
2. Pengembangan penelitian dapat diarahkan ke ranah bisnis, mengingat kemungkinan produksi massal dari komposit polyester timbal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Alatas, Z. 2014. *Efek pewarisan akibat radiasi pengion*. Buletin Alara 8.2.
- Astuty, F. 2012. *Variasi Pemilihan Faktor Expose Terhadap Kontras Pada Teknik Radiografi Jaringan Lunak*. Skripsi. Makasar: FMIPA Universitas Negeri Hasanudin.
- Beiser, A. 1987. *Konsep Fisika Modern (4th ed)*. Jakarta: Penerbit: Erlangga.
- Blum, M. M., and John, H. 2011. *Historical perspective and modern applications of Attenuated Total Reflectance–Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR)*. Article in Drug Testing and Analysis. 4, 298-302.
- Bushong, S.C.2001. *Radiologic Science for Technologists (7th ed.)*. U. S of America: A Harcourt Health Science Comp
- Cameron, J. R., Skrofonick, J.G. and Grant, R. M. 1999. *Physics of the body*. 2nd ed, Granville, Ohio.
- Cowd, M.A. 1991. *Kimia Polimer*. Diterjemahkan oleh Drs. Harry Firman, M.Pd. Penervit ITB. Bandung.
- Effendy, Edison, dan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ambon. 2012. *Perubahan Sifat Mekanis Komposit Hibrid Poliester Yang Diperkuat Serbuk Batok Kenari Dan Serat Kelapa Akibat Variasi Fraksi Volume*. *Jurnal Simetrik*: 1. ISSN : 2302-9579. 1-8.

- Fahmi, Arif, K. Sofjan Firdausi, dan Wahyu Setia Budi. 2008. Pengaruh Faktor Ekspansi Pada Pemeriksaan Abdomen Terhadap Kualitas Radiograf Dan Paparan Radiasi Menggunakan Computed Radiography. *Berkala Fisika* 11. 4: 109-118.
- Firmansyah. 2007. *Pembuatan Perisai Radiasi Pb Acrilic untuk Jendela Ruang Kontrol Pada Instalasi Radiodiagnostik*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Fosbinder, R. A. and Kelsey, C. A. 2001. *Essential of radiologic science*. McGraw Hill. New York: *Medical Publishing Division*.
- Gabriel, J.F. 1996. *Fisika Kedokteran*, Jakarta: buku kedokteran
- Hasfita, Fikri, dan Husni Husin. 2013. Pengaruh Temperatur reaksi terhadap Aktivitas Katalis Besi Molibdenum Oksida Berpromotor Kromium Oksida. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*. Vol.2 No.1 (2013) 24-28. ISSN 2302 934X
- Kramer, H. M., dan Selbach, H. J. 2008. Extension of the Range of Definition of the Practical Peak Voltage up to 300 kV. *The British Journal of Radiology* (81) :693 - 698.
- Kurniawan, Wawan, et al. *Analisa Spektrum Cahaya Laser He-Ne Menggunakan Spektrometer Digital*.

- Maryanto, Djoko., dan Abidin Z. Solichin. 2008. Analisis Keselamatan Kerja Radiasi Pesawat Sinar-X di Unit Radiologi RSUD Kota Yogyakarta. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*.
- Mashuri. 2008. Efek Termal Dan Bahan Penggandeng (Coupling Agent) Silane Terhadap Kestabilan Mekanik Bahan Kompositpoliester Dengan Pengisi Partikulit SiC. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol. 9, No. 1 : 40 – 45. ISSN : 1411-1098.
- Masturi, dan Sunarno. 2015. Estimation of Van der Waals Interaction Using FTIR Spectroscopy. *Advanced Material Research*. Vol. 1123:61-64.
- Munir, R. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*. Bandung: Informatika
- Paviliyanti Juwita. 2012. *Studi Pembuatan Perangkat DGT (Diffusive Gradient in Thin Film) dengan CHELEX-100 dan Poli (asam) Akrilat Binding Gel Untuk Pengukuran Logam Labil Timbal (II) dan Terkompleks*. Skripsi. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Pratiwi, Umi. 2006. *Aplikasi Analisis Citra Detail Phantom dengan Metode Konversi Data Digital ke Data Matrik untuk Meningkatkan Kontras Citra Menggunakan Film Imaging Plate*. Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret
- Pugliese M., et al. 2010. Tests of shielding effectiveness of Kevlar and Nextel onboard the International Space Station and the Foton-M3 capsule. *Journal of Radiat Environ Biophys*. 49:359-363.

- Putra, Hendra, Iman Satyarno, dan Agus Budhie Wijatna. 2009. Penggunaan Pasir Besi Dari Kulon Progo Dengan Berat Jenis 4,311 Untuk Mortar Perisai Radiasi Sinar Gamma. *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*. Vol. 18. No. 3. 2009.
- Rahmawati, Anis. 2009. Kekuatan Beton Normal Fas 0,6 Sebagai Perisai Radiasi Gamma. *Artikel Karya Ilmiah*. Solo: Universitas Negeri Surakarta.
- Ramlan Silaban, M. S., & Kar, A. S. 2008. *Pengaruh Pemberian Vitamin C Terhadap Ktivitas Enzim Delta Aminolevulinic Acid Dehidratase (o-ALAD, Kadar Hemoglobin Dan Basophilic Stippling Pada Mencit Yang Dipapar Plumbum*.
- Rudi, Pratiwi, Susilo. 2013. *Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar-X Di Instalasi Radiodiagnostik Untuk Proteksi Radiasi*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Negeri Semarang.
- Sujasman, Adi. 2009. *Penyediaan Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit (KKS) Dengan Resin Poliester Tak Jenuh (Yukalac 157 BQTN-EX)*.
- Sumarni, Sri, Iman Satyarno, dan Agus Budhie Wijatna. Penggunaan Pasir Besi dan Barit sebagai Agregat Beton Berat untuk Perisai Radiasi Sinar Gamma. *Media Teknik Sipil* 7.2 (2007): 93-99.
- Susilo, W.S. Budi, Kusminarto, & G. B. Suparta. 2013. Kajian Radiografi Digital Tulang Tangan. *Berkala Fisika*. ISSN: 1410 – 9662
- Suyatno, Ferri. 2008. Aplikasi radiasi sinar-X di bidang kedokteran untuk Menunjang Kesehatan Masyarakat. *Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.

- Syafitri, Ika Ramadhani. 2014. *Pengetahuan Mahasiswa Non Klinik Tentang Keselamatan Kerja Di Lintasan Radiasi Pada Salah Satu Fakultas Kedokteran Gigi di Sumatera Barat.*
- Syahria, Syahria, Evi Setiawati, dan K. Sofjan Firdausi. 2012. Pembuatan Kurva Isodosis Paparan Radiasi Di Ruang Pemeriksaan Instalasi Radiologi RSUD Kabupaten Kolaka-Sulawesi Tenggara. *Berkala Fisika* 15.4 (2012): 123-132.
- Tantra, Dhimas Agusta. 2014. *Studi Pembuatan Perisai Radiasi Tembus Pandang Dengan Paduan Timbal Acrylic Sebagai Alternatif Pengganti Kaca Timbal.* Skripsi. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Trikasjono, Toto, Djoko. Marjanto, dan Agung. Nugroho. 2007. Perancangan Ruang Pengujian Kebocoran Pesawat Sinar X Rigaku 250 KV di STTN Batan Yogyakarta. *Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.
- Vassileva, J. 2004. A Phantom Approach to Find The Optimal Technical Parameters for Plain Chest Radiography. *The British Journal of Radiology* 77:648 - 653.
- Wahyu, S. B. 2013. Aplikasi Perangkat Lunak Berbasis Matlab Untuk Pengukuran Radiograf Digital. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia (Indonesian Journal of Physics Education)* 9.1.
- Young, Hugh D. 2003. *Fisika Universitas* Jilid 2. Erlangga. Jakarta.

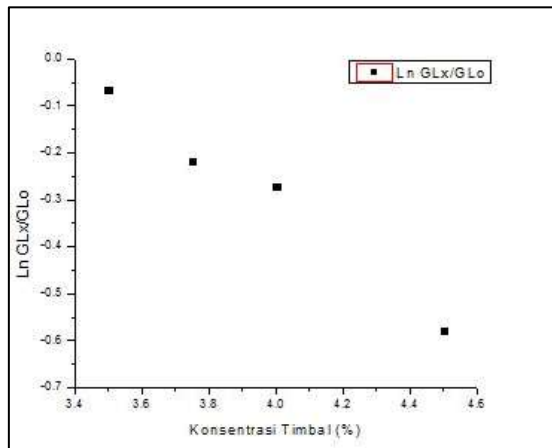
Lampiran 1. Perhitungan Sampel variasi konsentrasi timbal

a. Analisis koefisien atenuasi

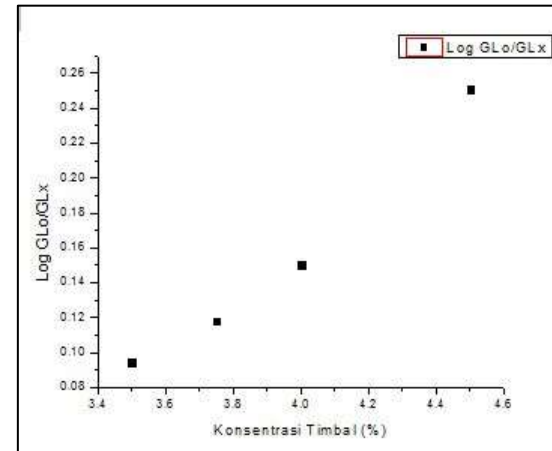
Tabel pengamatan dengan 50kV, 16 mA dan 0,1 s

Sample	Konsentrasi Pb (%)	I_0	I_x	$\ln(\frac{I_x}{I_0})$	$\log(\frac{I_0}{I_x})$	μ
A	0		175,632	-0,06617	0,028738	0,132343
B	3,50		150,903	-0,21793	0,094644	0,435851
C	3,75	187,647	143,006	-0,27168	0,117987	0,543352
D	4,00		132,808	-0,34566	0,150117	0,691316
E	4,50		105,264	-0,57809	0,251062	1,156182

Grafik hubungan $\ln(\frac{I_x}{I_0})$ dengan konsentrasi timbal (kemampuan transmisi sinar-X)



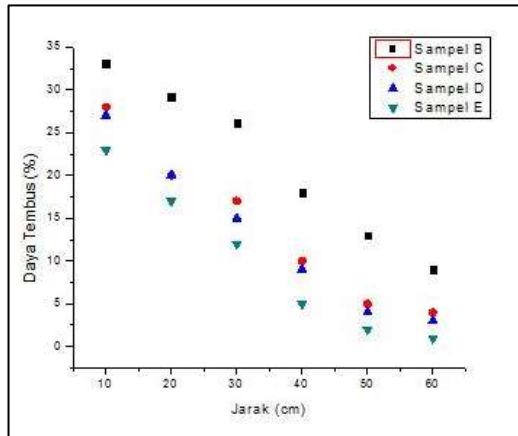
Grafik hubungan $\log(\frac{I_0}{I_x})$ dengan konsentrasi timbal (densitas optik)



b. Analisis transmitansicahaya

Sampel	Jarak (M)					
	10	20	30	40	50	60
(-)	0,89	0,89	0,88	0,82	0,73	0,68
A	0,5	0,48	0,44	0,39	0,33	0,3
B	0,33	0,29	0,26	0,18	0,13	0,09
C	0,28	0,2	0,17	0,1	0,05	0,04
D	0,27	0,2	0,15	0,09	0,04	0,03
F	0,23	0,17	0,12	0,05	0,02	0,01

Grafik hubungan transmitansicahaya terhadap jarak



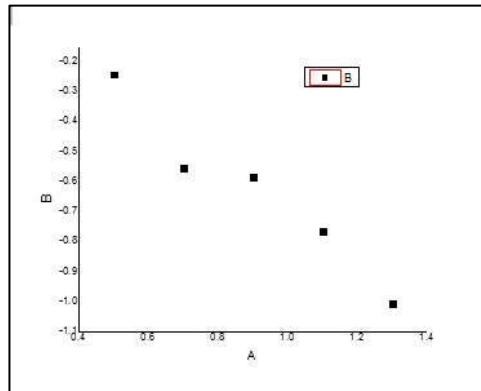
Dari grafik diperoleh transmitansiteringgi oleh sampel A dengan konsentrasi timbal 3,5 %

Lampiran 2. Perhitungan sampel variasi tebal sampel

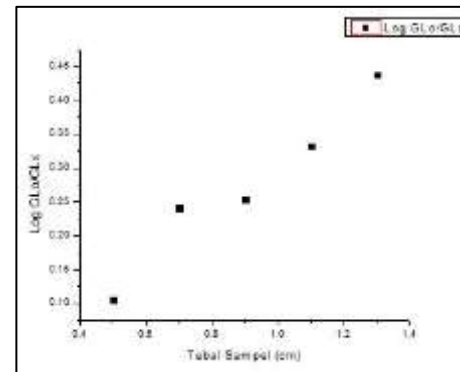
a. Analisis koefisien atenuasi

Ketebalan sampel	I_o	I_x	$\ln\left(\frac{I_x}{I_o}\right)$	$\log\left(\frac{I_o}{I_x}\right)$	μ	$\sigma\mu$	σ^2
0,5		150,903	-0,24367	0,105825	0,487344	-0,12921	0,016695
0,7		110,573	-0,55463	0,240874	0,792333	0,175781	0,030899
0,9	192,541	107,33	-0,5844	0,253802	0,584401	-0,03215	0,001034
1,1		89,468	-0,76643	0,332855	0,58956	-0,02699	0,000729
1,3		70,366	-1,0066	0,43716	0,629124	0,012572	0,000158
Jumlah					3,082762		0,049514
Rerata					0,616552	Deviasi Standar	0,049756
						Keseeksamaan	0,919299

Grafik hubungan $\ln\left(\frac{I_x}{I_o}\right)$ dengan konsentrasi timbal (kemampuan transmisi sinar-X)



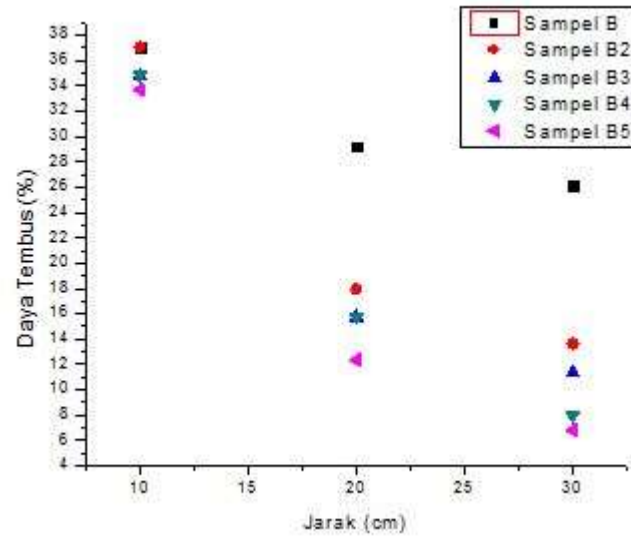
Grafik hubungan $\log\left(\frac{I_o}{I_x}\right)$ dengan konsentrasi timbal (densitas optik)

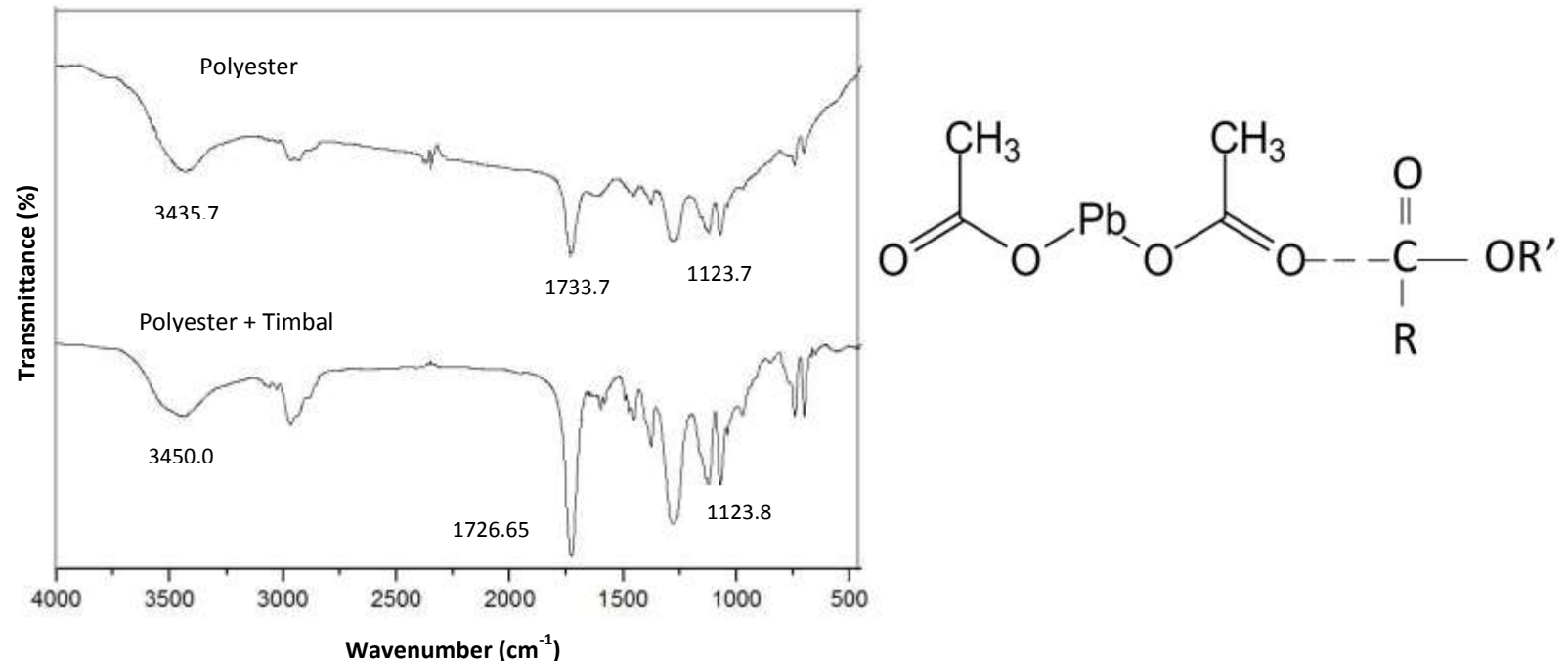


Dari analisis yang diperoleh didapatkan koefisien atenuasi sebesar $0,616 \pm 0,049 \text{ cm}^{-1}$ dengan keseksamaan 91,9%

b. Analisis transmitansicahaya

Sampel	Jarak (cm)		
	10	20	30
B	33.07865	29.21348	26.13636
B2	37.07865	17.97753	13.63636
B3	34.83146	15.73034	11.36364
B4	34.83146	15.73034	7.954545
B5	33.70787	12.35955	6.818182





Lampiran 3. Analisis FTIR

Interaksi vanderwaal terjadi antara oksigen dari grup timbal asetat dengan karbon dari gugus polyester

$$\Delta k = 1123,82 - 1123,71$$

$$\Delta k = 0,11 \text{ cm}^{-1}$$

$$\Delta \lambda = \frac{1}{k}$$

$$\Delta \lambda = 9,09 \text{ cm} = 0,090 \text{ m}$$

$$E_{\text{vdW}} = \frac{hc}{\Delta\lambda} = \frac{(6,63 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^8)}{0,090}, E_{\text{vdW}} = 1,36 \times 10^{-5} \text{ eV}$$

$$\epsilon_{oo} = 3,70 \times 10^{-3}, \epsilon_{cc} = 2,86 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_{oc} = \sqrt{3,70 \times 10^{-3} \cdot 2,86 \times 10^{-3}}$$

$$\epsilon_{oc} = 3,2 \times 10^{-3}$$

$$\tau_{oo} = 3,11 \text{ \AA}, \tau_{cc} = 3,47 \text{ \AA}$$

$$\tau_{co} = \frac{3,11 + 3,47}{2}$$

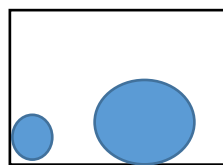
$$\tau_{co} = 3,29 \text{ \AA}$$

$$E_{\text{vdW}} = 4\epsilon \left(\frac{\tau}{R}\right)^{12} - \left(\frac{\tau}{R}\right)^6$$

$$1,36 \times 10^{-5} \text{ eV} = 4 \cdot 3,2 \times 10^{-3} \left(\frac{3,29}{R}\right)^{12} - \left(\frac{3,29}{R}\right)^6$$

	R kesetimbangan	R minimal	R maksimal
C-----O	3,69	3,29	10,19

Lampiran 4. Analisis rapat luas atom



R



= luas permukaan timbal asetat (5,67 \AA)

= luas permukaan Poliester (12,76 \AA)

Diasumsikan satu paket molekul adalah timbal asetat + jarak kesetimbangan + poliseter + jarak kesetimbangan

Maka:

$$5,67 + 3,69 + 12,76 + 3,69 = 25,81 \text{ \AA}$$

Dalam $1 \mu\text{m}^2$ atau 100000000 \AA^2 terdapat

$$\frac{10^8}{25,81} = 3,8 \times 10^6 \text{ paket molekul}$$

Jadi dalam luas permukaan 10^8 \AA^2 terdapat atom timbal asetat dan polyester sebanyak $1,93 \times 10^6 \text{ atom/} \mu\text{m}^2$

Lampiran 5. Foto penelitian



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

Nomor: *825/P/2015*

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

- Menimbang** : Bahwa untuk memper lancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.
- Mengingat** : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambah Lembaran Negara RI No 4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES,
- Menimbang** : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 4 Maret 2015
- MEMUTUSKAN**
- Menetapkan** :
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:
1. Nama : Prof. Dr. Susilo, M.S.
NIP : 195208011976031006
Pangkat/Golongan : IV/D
Jabatan Akademik : Guru Besar
Sebagai Pembimbing I
 2. Nama : Dr. MASTURI, S.Pd., M.Si.
NIP : 198103072006041002
Pangkat/Golongan : III/C
Jabatan Akademik : Lektor
Sebagai Pembimbing II
- Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir .
- Nama : TRI SUSANTI
NIM : 4211411054
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
Topik : KOMPOSIT AKRILIK TIMBAL SEBAGAI PENGGANTI KACA
TIMBAL
- KEDUA** : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

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



4211411054

FM-03-AKD-24/Rev. 00

Lampiran 7. Surat Tugas Panitia Ujian Skripsi



KEMENTERIAN RISTEK DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
Gedung D7 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
Telepon: 0248508034
Laman: , surel:

No. : 9261/UN37.14/0/2015.
Lamp. :
Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

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

I. Susunan Panitia Ujian:

a. Ketua : Prof. Dr. ZAENURI, S.E, M.Si, Akt
b. Sekretaris : Dr. Khumaedi, M.Si.
c. Pembimbing Utama : Prof. Dr. Susilo, M.S.
d. Pembimbing Pendamping : Dr. MASTURI, S.Pd., M.Si.
e. Penguji : Prof. Dr. SUTIKNO, S.T., M.T.

II. Calon yang diuji:

Nama : TRI SUSANTI
NIM/Jurusan/Program Studi : 4211411054/Fisika
/Fisika, S1
Judul Skripsi : KOMPOSIT POLIESTER TIMBAL SEBAGAI MATERIAL PROTEKSI
RADIASI UNTUK PENGGANTI KACA TIMBAL

II. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal : Selasa / 1 Desember 2015
Jam : 10.00.00
Tempat : D 7 L. 3
Pakaian :

Tembusan
1. Ketua Jurusan Fisika
2. Calon yang diuji



Semarang, 24-11-2015
Prof. Dr. ZAENURI, S.E, M.Si, Akt
NIP 196412231988031001

4211411054