



**OPTIMASI KOMPOSISI ALUMINIUM OKSIDA
(Al₂O₃) UNTUK APLIKASI ALTERNATIF PHANTOM
TULANG KORTIKAL**

SKRIPSI

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

oleh

Serli Pangestika Suwarno

4211411060

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

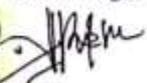
2015

PERNYATAAN

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

Semarang, 22 Desember 2015




Serli Pangestika Suwarno

NIM 4211411060

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al_2O_3) untuk Aplikasi Alternatif
Phantom Tulang Kortikal

disusun oleh

Serli Pangestika Suwarno

4211411060

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



Prof. Dr. Zaenuri, S.E., M.Si., Akt
NIP. 19641223 198803 1 001

Sekretaris

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

Ketua penguji

Prof. Dr. Sutikno, M.T
NIP. 19741120 199903 1 003

Anggota Penguji/Pembimbing I

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

Anggota Penguji/ Pembimbing II

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

MOTTO

- Aku tidak punya aturan, aku hanya berusaha melakukan yang terbaik setiap saat dan setiap hari (Abraham Lincoln)
- Pengetahuan adalah senjata yang paling hebat untuk mengubah dunia (Nelson Mandela)
- Asalkan kamu percaya, semua bisa terjadi (Christopher Reeve)

PERSEMBAHAN

Untuk Bapak, Ibu, Candra dan Mbah

Untuk Agung Prasetyo Utomo

Untuk Ani'atul, Susanti dan Ninik

Untuk Keluarga besar Fisika Medis '11

Untuk semua orang yang percaya bahwa *dreams will come true*

KATA PENGANTAR

Segala puji milik Tuhan semesta alam berkat rahmat dan bimbinganNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al_2O_3) untuk Aplikasi Alternatif Phantom Tulang Kortikal”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika Jurusan Fisika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. 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, Candra dan mbah tercinta dan terkasih yang selalu menjadi sumber motivasi untuk selalu berjuang dan memberi segala doa di setiap shoalat sujud serta tasbihnya.
9. Agung Prasetyo Utomo trimakasih untuk waktu serta tetap tinggal dan selalu ada untuk support motivasi dan doa yang diberikan selama ini.
10. Sahabat-sahabatku (Tri Susanti, Ani'atul Adawiyah, Ninik Suryani) tanpa semua canda konyol yang kalian lontarkan perjuangan penulisan ini terasa sepi terimakasih telah mampu menjadi kawan dan pengganggu yang senantiasa mau mendengarkan segala keluh kesahku.
11. Tim kos Zaenab 2011-2014, trimakasih mbak-mbak dan adek-adekku tercinta yang selalu membimbing di jalan Allah walaupun aku sering bandel.
12. Teman-teman lab. medik 2011 yang selalu menjadi partner belajar.
13. Keluarga besar Fisika 2011 yang memberikan kesan indah selama kuliah.
14. Rodhotul Muttaqin, S.Si., dan Wasi Sakti Wiwit Prayitno, S.Pd., Laboran Lab. Fisika Unnes yang banyak memberikan bantuan serta masukan.
15. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Penulis juga mohon maaf apabila dalam penyusunan skripsi ini ada beberapa kekurangan dan kesalahan, serta masih jauh dari kesempurnaan, karena keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Namun penulis hanya berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, lembaga yang terkait, masyarakat dan kepada para pembaca pada umumnya. Penulis juga sangat mengharapkan adanya kritik serta saran demi menyempurnakan kajian ini.

Semoga penelitian yang telah dilakukan oleh penulis dapat menjadikan sumbang
sih bagi kemajuan dunia medik di Indonesia. Amin.

Semarang, 1 Desember 2015

Penulis

Serli Pangestika Suwarno

4211411060

ABSTRAK

Suwarno, Serli Pangestika. 2015. *Optimasi Komposisi Aluminium Oksida (Al_2O_3) untuk Aplikasi Alternatif Phantom Tulang Kortikal*. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Utama Prof. Dr. Susilo, M.Si dan Pembimbing Pendamping Dr. Masturi, S. Pd., M.Si.

Kata kunci: Sinar-x, phantom, koefisien atenuasi (μ), densitas optik

Phantom merupakan suatu simulasi atau pemodelan dari jaringan tubuh manusia yang komposisi penyusun dan sifatnya dibuat semirip mungkin dengan anggota tubuh manusia. Salah satu alasan dibutuhkan phantom adalah jika penelitian menggunakan jaringan tubuh manusia harus mendapatkan ijin dari komisi etika kedokteran. Phantom sangat penting dalam dunia medis, tetapi harga phantom buatan pabrik sangatlah mahal, sehingga harus dibuat phantom alternatif untuk menggantikan fungsi dari phantom buatan pabrik tersebut. Phantom alternatif harus memiliki harga yang lebih terjangkau dan memiliki koefisien atenuasi (μ) seperti phantom buatan pabrik. Dilakukan eksposi tulang *forearm* yang memiliki nilai koefisien atenuasi (μ) $0,293 \text{ cm}^{-1}$ sebagai acuan pembuatan phantom. Sampel dibuat dengan variasi komposisi Al_2O_3 -epoxy resin dan Al_2O_3 -polyester resin dengan kandungan Al_2O_3 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Sampel diuji dengan sinar-x 55 kV kemudian diukur densitas optik sampel, perhitungan nilai koefisien atenuasi (μ) serta analisis gaya Van der Waals dan luas permukaan partikel. Bertambahnya konsentrasi Al_2O_3 , meningkatkan nilai koefisien atenuasi (μ) sampel. Berdasarkan penelitian, didapatkan komposisi 30% Al_2O_3 -polyester resin merk Yukalac 157 BQTN dapat digunakan sebagai alternatif pengganti phantom buatan pabrik. Terdapat hubungan nilai koefisien atenuasi (μ) phantom dengan bahan pembuatnya, semakin tinggi nilai luas permukaan partikel bahan penyusun phantom maka semakin tinggi pula nilai koefisien atenuasi (μ) phantom.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN	ii
PENGESAHAN	iii
MOTTO	iii
PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Sistematika Skripsi	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Sinar-X	6
2.1.1 Pengertian Sinar-X	7
2.1.2 Parameter Pesawat Sinar-X	8
2.2 Phantom	10
2.3 Densitas Radiograf	12
2.4 Koefisien Atenuasi (μ)	15
2.5 Film Sinar-X	16
2.5.1 Susunan Penampang Lintang Film	16
2.5.2 Kurva Karakteristik Film	18
2.6 Struktur Tulang Manusia	21

2.7	Karakteristik Bahan	22
2.7.1	Aluminium Oksida	22
2.7.2	Resin	22
2.8	FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	24
2.9	Luas Permukaan Atom	25
BAB 3 METODE PENELITIAN		
3.1	Desain Penelitian	26
3.2	Subjek	27
3.3	Variabel Penelitian	28
3.4	Pengambilan Data	28
3.4.1	Bahan	28
3.4.2	Alat	29
3.4.3	Teknik Pengambilan Data	29
3.5	Analisis Data Penelitian	32
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Eksposi Menggunakan Sinar-X	35
4.2	Nilai Kontras Film yang Digunakan	39
4.3	Nilai Koefisien Atenuasi (μ) Sampel	40
4.4	Analisis FTIR	44
4.5	Analisis Luas Permukaan Molekul	48
BAB 5 PENUTUP		
5.1	Simpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		52
LAMPIRAN		56

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Wilhem Conrad Roentgen.....	6
Gambar 2.2 Terbentuknya sinar-x pada tabung hampa (Anonymous, 2009).....	7
Gambar 2.3 Perubahan energi dipengaruhi oleh besar tegangan tabung sinar-x (Kurnianto, 2013)	9
Gambar 2.4 Perubahan intensitas mengikuti perubahan arus (Kurnianto, 2013) .	10
Gambar 2.5 <i>Bone equivalent</i> material phantom.....	11
Gambar 2.6 Skema densitometer transmisi	14
Gambar 2.7 Skema densitometer refleksi	14
Gambar 2.8 Susunan film sinar-x emulsi tunggal (Meredith, 1977)	17
Gambar 2.9 Susunan film sinar-x emulsi ganda (Meredith, 1977).....	17
Gambar 2.10 Kurva karakteristik film sinar-x (Meredith, 1997).....	18
Gambar 2.11 Struktur kimia epoxy resin (Prasojo, 2009)	23
Gambar 2.12 Reaksi ikat silang polyester dengan styrene (Sujasman, 2009)	24
Gambar 3.1 Alur penelitian.....	26
Gambar 3.2 Susunan alat penyinaran untuk mengukur densitas optik sampel	31
Gambar 3.3 Titik pengukuran densitas optik	32
Gambar 4.1 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 55 kV terhadap sampel.....	36
Gambar 4.2 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 45 kV terhadap sampel.....	36
Gambar 4.3 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 55 kV terhadap <i>forearm</i>	37
Gambar 4.4 Densitas optik sampel dengan variasi tegangan.....	38
Gambar 4.5 Grafik koefisien atenuasi (μ) sampel	41

Gambar 4.6 Hasil uji FTIR pada sampel epoxy resin murni dan epoxy resin – Al ₂ O ₃ 5%	44
Gambar 4.7 Hasil uji FTIR pada sampel polyester resin murni dan polyester resin – Al ₂ O ₃ 5%	45
Gambar 4.8 Interaksi Van der waals antara (a) Al ₂ O ₃ dengan grup epoxide dari epoxy resin (b) Al ₂ O ₃ dengan grup ester dari polyester resin....	45
Gambar 4.9 Grafik potensial Lennard Jones epoxy-Al ₂ O ₃ dan polyester-Al ₂ O ₃ ..	47
Gambar 4.10 Simulasi interaksi yang terjadi antara molekul (a) Al ₂ O ₃ - polyester resin (b) Al ₂ O ₃ -epoxy resin.....	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi tulang kompak (Femur)	21
Tabel 3.1 Komposisi sampel epoxy resin	27
Tabel 3.2 Komposisi sampel polyester resin	27
Tabel 3.3 Tabel pengukuran nilai kontras film yang digunakan	33
Tabel 3.4 Tabel pengukuran koefisien atenuasi (μ).....	34
Tabel 4.1 Perhitungan nilai kontars film yang digunakan	40
Tabel 4.2 Koefisen atenuasi (μ) sampel yang dipapar sinar-x 55 kV	41
Tabel 4.3 Perhitungan nilai koefisen atenuasi (μ) tulang	43
Tabel 4.4 Jarak interaksi antar atom	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Pengukuran Densitas Optik Sampel dan Perhitungan Koefisien Atenuasi (μ) Sampel pada Tegangan 45 kV	56
2. Hasil Pengukuran Densitas Optik Sampel dan Perhitungan Koefisien Atenuasi (μ) Sampel pada Tegangan 55 kV	58
3. Hasil Pengukuran Densitas Optik Tulang dan Perhitungan Koefisien Atenuasi (μ) Tulang	60
4. Perhitungan Kontras Film	61
5. Perhitungan Interaksi <i>Van der Walls</i> menggunakan FTIR	62
6. Foto Alat dan Bahan	64

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Phantom merupakan suatu simulasi atau pemodelan dari jaringan tubuh manusia yang komposisi penyusun dan sifatnya dibuat semirip mungkin dengan anggota tubuh manusia. Phantom digunakan dalam dunia medis untuk penelitian, dikarenakan jika penelitian menggunakan jaringan tubuh nyata harus mendapatkan izin dari komisi etika kedokteran. Alasan lain penggunaan phantom adalah jika ingin melakukan penyelidikan atau penelitian mengenai kelainan jaringan yang sangat tidak umum, ini membutuhkan sebuah sampel khusus yang tidak selalu tersedia, maka dapat digunakan phantom yang telah dirancang khusus untuk penelitian tersebut. Inilah mengapa phantom sangat dibutuhkan dalam bidang medis.

Pembuatan phantom pada dunia medis cukup mahal. Mahalnya phantom tergantung pada bahan yang digunakan untuk membuat phantom. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk membuat phantom dapat menggunakan berbagai macam bahan, seperti yang telah dilakukan oleh : (1) Stretizki pada tahun 1997 membuat rancang bangun *trabecular bone* phantom menggunakan epoxy resin. (2) Boykov pada tahun 2003 membuat rancang bangun phantom tulang tengkorak menggunakan epoxy resin dan serbuk tungsten. (3) Moilanen pada tahun 2004 membuat phantom tulang femur

menggunakan PVC. (4) Wydra pada tahun 2013 membuat rancang bangun phantom menggunakan epoxy resin dan serbuk alumina.

Harga dari bahan-bahan pembuat phantom tersebut berbeda-beda mulai dari serbuk tungsten yang harganya lumayan mahal hingga Al_2O_3 yang harganya cukup terjangkau. Phantom alternatif ini haruslah memiliki koefisien serap sinar-x yang sama atau mendekati dengan phantom produk pabrik. Intensitas sinar-x yang disinarkan pada sebuah bahan akan ditransmisikan dengan intensitas yang berbeda. Perbedaan intensitas sinar-x yang masuk dan yang ditransmisikan untuk setiap bahan berbeda-beda. Dilihat dari sudut pandang fisika medis, perbedaan serap sinar-x setiap bahan dipengaruhi oleh perbedaan nomor atom bahan, semakin tinggi nilai nomor atom suatu bahan maka semakin tinggi bahan tersebut dapat menyerap sinar-x. Sementara itu jika dilihat dari sudut pandang fisika material, penyerapan sinar-x pada sebuah bahan diduga ada faktor lain yang mempengaruhinya.

Sebab dari itu, pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan phantom alternatif yang memiliki sifat yang hampir sama dengan jaringan tubuh manusia. Untuk menguji sejauh mana kelayakan phantom buatan ini, maka phantom harus memiliki koefisien atenuasi (μ) yang sama dengan tulang manusia. Selain ditinjau dari koefisien atenuasi (μ) phantom, dalam penelitian ini juga akan dicari hubungan koefisien atenuasi (μ) phantom dengan bahan penyusunnya. Phantom buatan ini diharapkan dapat menggantikan phantom buatan pabrik dengan harga yang lebih terjangkau.

Penelitian ini akan dilakukan pembuatan phantom sebagai phantom alternatif dari aluminium oksida (Al_2O_3) sebagai *filler*, epoxy resin dan polyester resin sebagai polimer. Phantom yang akan dibuat akan dilakukan variasi campuran antara aluminium oksida (Al_2O_3), epoxy resin dan polyester resin, yang nantinya dicetak dengan ketebalan yang sama. Sampel yang telah jadi akan dilakukan penyinaran menggunakan sinar-x. Penyinaran ini akan menghasilkan radiograf yang memiliki kontras yang berbeda tergantung pada penyusun sampel. Radiograf yang dihasilkan ini selanjutnya akan dilakukan pengukuran densitas optik menggunakan alat ukur densitometer, dan selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien atenuasi (μ) phantom tulang dan analisis hubungan koefisien serap dengan ukuran partikel penyusun.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dituliskan, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah

- (1) Berapa koefisien atenuasi (μ) dari phantom acuan?
- (2) Bagaimana komposisi phantom alternatif yang paling optimum yang sesuai dengan tulang manusia?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk

- (1) Mengetahui nilai koefisien atenuasi (μ) dari phantom acuan.
- (2) Menentukan komposisi phantom alternatif yang sesuai dengan tulang manusia.

1.4 Sistematika Skripsi

Untuk memberikan gambaran pembahasan, berikut ini adalah urutan sistem penulisan:

- | | |
|-------|--|
| BAB 1 | Menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan. |
| BAB 2 | Menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang berupa dasar-dasar sinar-x, phantom, densitas radiograf, koefisien atenuasi (μ), film sinar-x, struktur tulang manusia, karakteristik bahan, FTIR dan luas permukaan atom. |
| BAB 3 | Menjelaskan tentang metode penelitian meliputi desain penelitian, lokasi penelitian, variabel penelitian dan indikatornya, alat dan bahan, teknik pengambilan data penelitian dan analisis data penelitian. |
| BAB 4 | Menjelaskan hasil dan pembahasan yang berisi hasil analisis data yang telah diperoleh dari pengukuran kontras radiograf dari sampel menggunakan densitometer |

film. Nantinya hasil dari pengukuran ini adalah besar densitas sampel dan koefisien atenuasi (μ) sampel. Setelah analisis data dilakukan akan dilakukan pembahasan hasil perhitungan.

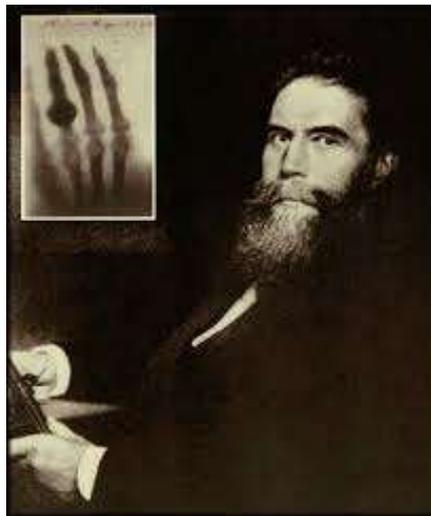
BAB 5 Menjelaskan penutup yang berisi simpulan dan saran-saran yang diperlukan dalam percobaan berikutnya agar diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sinar-X

Gambar 2.1 merupakan sosok Wilhem Conrad Roentgen, beliau adalah seorang ilmuwan yang berasal dari Lennep, Jerman yang merupakan orang yang pertama kali menemukan sinar-x. Pesawat sinar-x ini digunakan untuk diagnosis. Sinar-x akan di pancarkan dari tabung sinar-x dan diarahkan ke bagian tubuh pasien yang akan didiagnosa. Sinar-x memiliki kemampuan untuk menembus bahan dan dapat direkam pada sebuah film, sehingga nantinya akan timbul perbedaan kontras pada film akibat perbedaan kerapatan suatu bahan yang disebut radiograf (Masrochah, 2000).



Gambar 2.1 Wilhem Conrad Roentgen

2.1.1 Pengertian Sinar-X

Menurut Gabriel (1996:282), Sinar-x merupakan sebuah gelombang elektromagnetik yang berupa pancaran berkas elektron yang terpancar dari katoda menuju anoda. Gambar 2.2 merupakan skema terjadinya sinar-x, sinar-x terjadi apabila terdapat beda potensial yang besar yang terjadi antara katoda dan anoda di dalam ruang hampa/tabung hampa udara. Panjang gelombang sinar-x berkisar 0.01 nm – 10 nm (Krene, 1992). Sehingga dengan panjang gelombang seperti itu sinar-x memiliki daya tembus terhadap bahan yang sangat besar (Simon, 1986:20). Besar energi sinar-x dapat ditentukan dengan persamaan (Savitri, 2014)

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

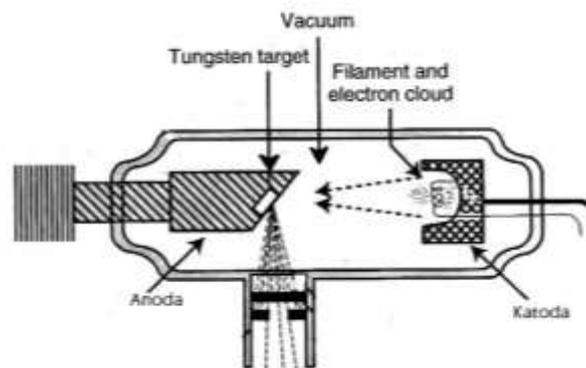
dengan: E = besarnya energi (Joule)

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

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

λ = panjang gelombang (m)

Berikut adalah skema terbentuknya sinar-x



Gambar 2.2 Terbentuknya sinar-x pada tabung hampa (Anonimous, 2009)

Menurut Sjahriar Rasad (2001), 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.

2.1.2 Parameter Pesawat Sinar-X

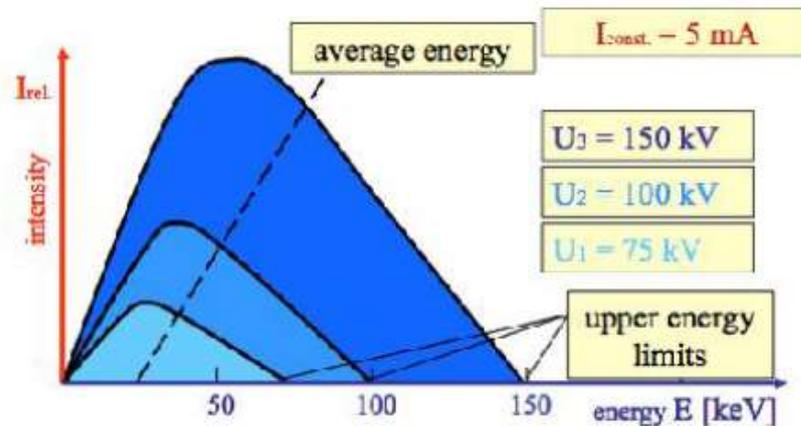
Parameter yang terdapat pada pesawat sinar-x atau faktor eksposi terdiri dari :

2.1.2.1 Pengaruh waktu (*s*)

Pengaruh waktu merupakan lamanya waktu penyinaran atau lamanya penyinaran. Semakin lama waktu eksposi maka hasil gambar akan mengalami keaburan atau semakin kabur. Menambah waktu eksposi juga akan menambah jumlah radiasi yang mencapai obyek akan semakin tinggi. (Dhahryan, 2008).

2.1.2.2 Pengaruh tegangan (*kV*)

Tegangan tabung adalah salah satu parameter pada pesawat sinar-x. Tegangan tabung ini digunakan untuk mengubah berapa tegangan yang digunakan untuk mempercepat elektron yang berada pada tabung (Vassileva, 2004).



Gambar 2.3 Perubahan energi dipengaruhi oleh besar tegangan tabung sinar-x (Kurnianto, 2013)

Seperti pada persamaan Duane-Hunt (persamaan 2.2) berikut ini tegangan tabung mempengaruhi panjang gelombang minimum sinar-x yang dipancarkan.

$$\lambda_{min} \approx \frac{1,239}{kV} \quad (2.2)$$

dengan: λ_{min} = panjang gelombang (nanometer)

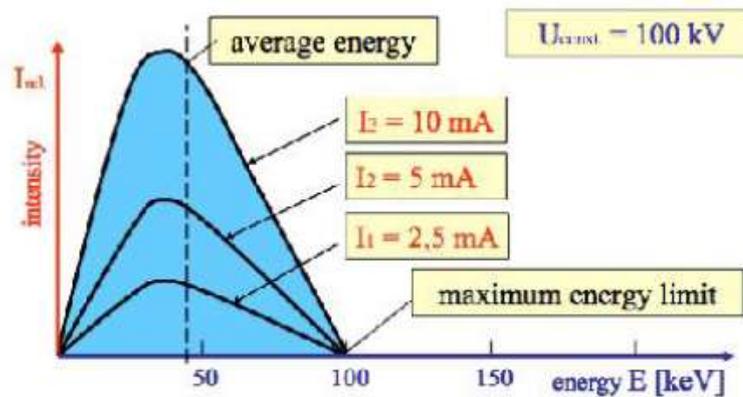
kV = tegangan tabung (kV)

Sedangkan panjang gelombang sinar-x akan berpengaruh pada energi sinar-x atau daya tembus sinar-x (persamaan 2.1). Seperti Gambar 2.3, semakin tinggi kV maka semakin besar daya tembusnya pada obyek karena memiliki energy sinar-x yang besar pula dan juga akan menghasilkan detail obyek yang tampak jelas.

2.1.2.3 Pengaruh Arus Tabung (mA)

Jumlah elektron yang akan menumbuk anoda ditentukan oleh besar kecilnya arus tabung. Arus tabung yang tinggi akan menghasilkan sinar-x

yang mempunyai intensitas yang tinggi pula, sehingga sinar-x mampu menembus organ tertentu (Dhahryan, 2008). Besar kecil mA disesuaikan dengan ketebalan benda yang akan di ekspose.



Gambar 2.4 Perubahan intensitas mengikuti perubahan arus (Kurnianto, 2013)

Gambar 2.4 diatas menunjukkan bagaimana hubungan antara besarnya intensitas sinar-x bergantung pada besarnya nilai arus tabung.

2.1.2.4 Pengaruh Jarak

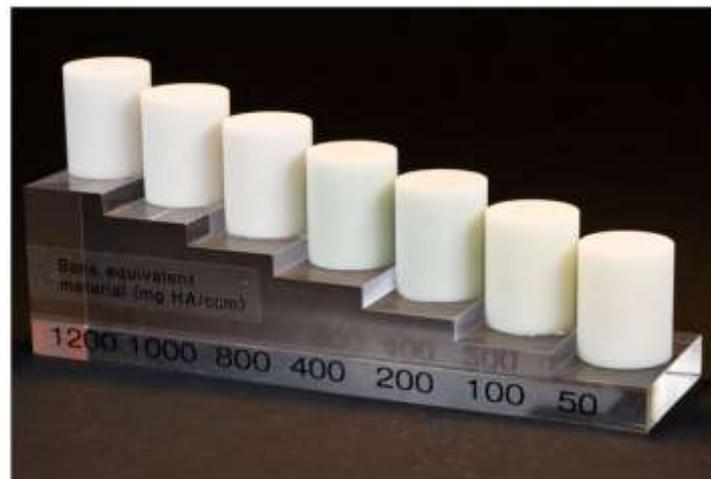
Pengaruh jarak pada eksposi sinar-x juga biasa disebut dengan *Focus Film Distance* (FFD). FFD merupakan jarak antara fokus tabung sinar-x dengan permukaan film. Penambahan jarak atau memperpanjang FFD akan menyebabkan berkurangnya ketajaman citra dan dapat mengurangi dosis pada pasien. Pengaturan FFD dapat dilakukan dengan menggerakkan *stand* tabung menjauhi atau mendekati obyek (Suyatno, 2011).

2.2 Phantom

Phantom merupakan suatu simulasi atau pemodelan dari jaringan tubuh manusia yang memiliki komposisi penyusun dan sifat yang dibuat semirip

mungkin dengan jaringan tubuh manusia. Phantom secara khusus di rancang dalam bidang pencitraan medis untuk mengevaluasi, menganalisis dan menyempurnakan kinerja berbagai perangkat pencitraan. Phantom akan lebih mudah didapatkan dan memiliki bentuk yang tetap dibandingkan menggunakan subyek hidup atau mayat, dan juga mengurangi resiko dari radiasi.

Sebuah phantom yang digunakan untuk mengevaluasi perangkat pencitraan harus memiliki cara kerja yang sama dengan jaringan manusia. Misalnya, phantom yang dibuat untuk radiografi 2D harus memiliki kontras dan daya serap sinar-x yang sesuai dengan jaringan manusia normal. Untuk hal seperti itu, phantom radiografi tidak harus memiliki tekstur dan sifat mekanik yang sama dengan jaringan manusia karena tidak relevan dengan citra hasil sinar-x.



Gambar 2.5 *Bone equivalent material phantom*

Gambar 2.5 merupakan salah satu jenis phantom yang diproduksi oleh QRM (*Quality Assurance in Radiology Medical*). Phantom tersebut diproduksi

dengan bahan campuran *Calcium Hidroksiapatit* (CaHA) yang memiliki sifat pelemahan sinar-x yang setara dengan tulang manusia. Selain QRM, perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan phantom seperti CIRS - *Computerized Imaging Reference Systems*, *Blue Phantom*, *Kyoto Kagaku*, *Gammex*, *SynDaver Labs*, *ATS Laboratories* dan lain-lain.

Dalam kurun waktu belakangan ini, berbagai penelitian mengenai pembuatan phantom telah banyak dilakukan untuk memperoleh phantom buatan yang memiliki standard dan karakteristik yang hampir menyerupai tubuh manusia. Penelitian tersebut menggunakan berbagai macam bahan, antara lain

- (1) Stretizki telah membuat rancang bangun *trabecular bone* phantom menggunakan epoxy resin pada tahun 1997;
- (2) Boykov telah membuat rancang bangun phantom tulang tengkorak menggunakan epoxy resin dan serbuk tungsten pada tahun 2003;
- (3) Moilanen telah membuat phantom tulang femur menggunakan PVC pada tahun 2004;
- (4) Wydra telah membuat rancang bangun phantom menggunakan epoxy resin dan serbuk alumina pada tahun 2013.

2.3 Densitas Radiograf

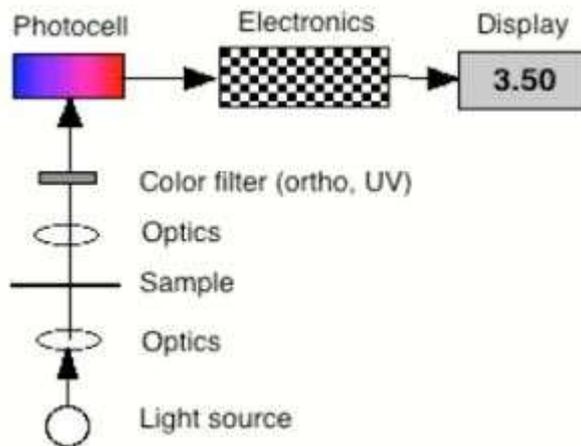
Densitas optik merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan derajat kepadatan kehitaman film (Putra, 2012). Pada film radiografi, khususnya pada lapisan emulsi film sangat sensitif terhadap radiasi sinar-x.

Saat sinar-x mengenai film, maka perak halida akan berubah menjadi perak metalik. Banyaknya perak metalik yang terbentuk berbanding lurus terhadap intensitas radiasi yang mengenai film (Achmad, 2008).

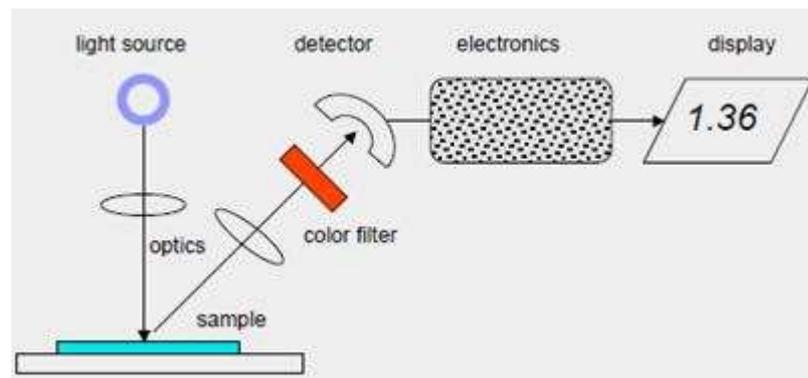
Suatu radiograf dikatakan baik ketika memiliki kontras antar bagian-bagian yang membentuk gambar dapat dibedakan dengan jelas. Perbedaan kontras radiograf ini ditentukan oleh densitas film. Apabila kontras hasil radiografi semakin baik maka perbedaan densitasnya semakin besar (Meredith, 1997). Densitas merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kualitas radiograf yang baik. Untuk mengukur densitas sebuah film atau menentukan derajat kehitaman radiograf dapat digunakan densitometer.

Densitometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kegelapan atau densitas optik dari bahan semi transparan. Prinsip pengukuran menggunakan densitometer adalah berdasarkan jumlah cahaya yang mengenai detektor. Ketika sebuah *spot* disinari oleh *ultra violet* maka sebagian cahaya akan diserap oleh *spot* dan sebagian yang lain akan direfleksikan, sehingga jumlah cahaya yang direfleksikan akan diterima oleh detektor (Putra, 2012).

Densitometer dibedakan menjadi dua yaitu densitometer transmisi (Gambar 2.6) dan densitometer refleksi (Gambar 2.7). Densitometer transmisi adalah densitometer yang membaca sinar yang melewati objek transparan oleh sel fotoelektrik atau detektor. Densitometer refleksi adalah densitometer yang membaca sinar yang direfleksikan oleh permukaan objek oleh sel fotoelektrik atau detektor.



Gambar 2.6 Skema densitometer transmisi



Gambar 2.7 Skema densitometer refleksi

Menurut Hanna dan Wayne (2008), densitas fotografi dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$D = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (2.3)$$

dimana: D = densitas
 I = jumlah sinar yang menuju film
 I₀ = jumlah sinar yang diteruskan

Nilai densitas film yang tertinggi 4 dan densitas terendah bernilai kurang dari 0,2. Densitas yang dapat dilihat oleh manusia berkisar antara 0,25-2,5 (Putra, 2002).

2.4 Koefisien Atenuasi (μ)

Koefisien atenuasi (μ) adalah fraksi terkecil dari intensitas berkas foton yang hilang pada setiap satuan ketebalan material yang dilaluinya, dalam hal ini cm (Sumarni, 2000). Koefisien atenuasi (μ) 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). Menurut Akar *et al* (2006), koefisien atenuasi (μ) sebuah benda dapat dituliskan seperti persamaan berikut

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.4)$$

dengan: I = intensitas radiasi setelah melewati bahan

I_0 = intensitas radiasi sebelum melewati bahan

μ = koefisien atenuasi (μ) bahan tulang

x = tebal bahan tulang

Satuan untuk μ 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} .

2.5 Film Sinar-X

Film sinar-x sangat dibutuhkan terutama pada sistem radiografi konvensional. Ketika radiasi sinar-x keluar dari kolimator dan menembus sebuah benda maka film sinar-x akan menangkap radiasi yang mampu diteruskan oleh bahan tersebut sehingga akan terjadi sebuah kontras pada film atau perbedaan hitam dan putih.

2.5.1 Susunan Penampang Lintang Film

Menurut Basri (2002), sebuah film sinar-x memiliki susunan penampang lintang yang terdiri dari :

- (1) film *base* atau lapisan dasar film

Syarat sebuah bahan yang digunakan untuk film *base* adalah kuat dan transparan. Pada film *base* yang sering digunakan adalah bahan dari *polyester* yang dibuat sangat tipis dan lemas, sehingga tidak mudah robek dan patah.

- (2) lapisan emulsi

Bahan yang digunakan pada lapisan emulsi ini adalah campuran dari gelantin dengan Kristal $AgBr$.

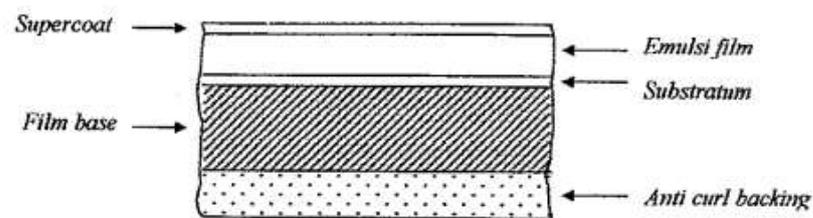
- (3) lapisan *subbing* atau lapisan perekat

Bahan pada lapisan perekat ini merupakan larutan *cellulose acetate* yang berfungsi sebagai perekat antara lapisan dasar film dengan lapisan emulsi film.

- (4) lapisan pelindung *supercoating* yang terdiri dari gelatin bening.

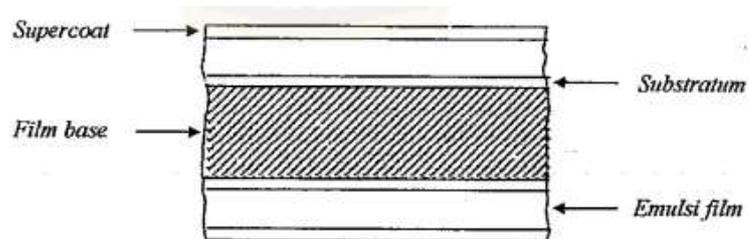
Lapisan pelindung ini terbuat dari gelatin bening yang berfungsi untuk melindungi emulsi dari tekanan dan gesekan.

Film sinar-x terdapat dua jenis yaitu film sinar-x emulsi tunggal dan film sinar-x emulsi ganda. Perbedaan pada kedua film ini terletak pada jumlah lapisan emulsi pada film. Untuk film emulsi tunggal hanya memiliki satu lapisan emulsi pada film *base*.



Gambar 2.8 Susunan film sinar-x emulsi tunggal (Meredith, 1977)

Sedangkan untuk film sinar-x emulsi ganda, lapisan emulsi terdapat di kedua sisi pada lapisan film *base*.



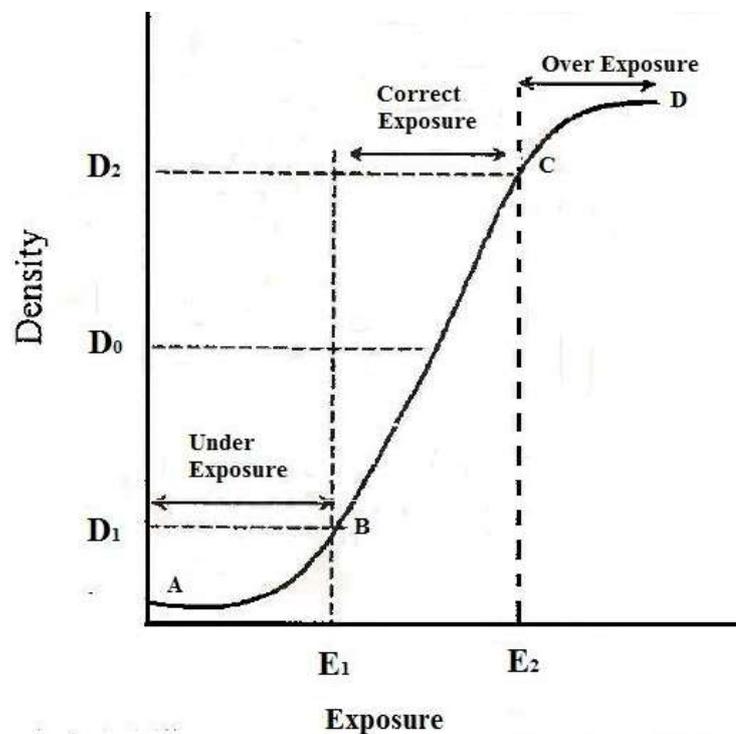
Gambar 2.9 Susunan film sinar-x emulsi ganda (Meredith, 1977)

Menurut Suyatno (2011:157-163), Terbentuknya kontras pada film sinar-x atau film *rontgen* ditentukan oleh banyak sedikitnya jumlah sinar-x yang mampu mengenai film *rontgen*. Ketika sinar-x di tembakkan pada obyek maka bagian kulit dan otot akan meneruskan sinar-x yang jumlahnya cukup banyak. Sinar-x tersebut akan menembus dan mengenai film, sehingga film akan berubah menjadi hitam. Tetapi ketika sinar-x tersebut mengenai tulang maka

sinar-x yang diteruskan jumlahnya sedikit atau hampir tidak ada, sehingga film berwarna putih.

2.5.2 Kurva Karakteristik Film

Menurut Basri (2002), kurva karakteristik film merupakan sebuah kurva yang menggambarkan hubungan faktor penyinaran/eksposi dengan densitas film. Sumbu Y menunjukkan densitas optik dan sumbu X menggambarkan nilai eksposi dalam bentuk logaritma eksposi.



Gambar 2.10 Kurva karakteristik film sinar-x (Meredith, 1997)

Gambar 2.10 merupakan sebuah kurva karakteristik yang dibagi dalam tiga bagian, yaitu:

2.5.2.1 Under Exposure/ Bagian Tumit

Bagian ini memiliki densitas yang rendah yang disebut kabut (*fog*). Bagian ini film hanya terkena paparan radiasi dengan energi yang rendah sehingga tidak menghasilkan bayangan laten.

2.5.2.2 Correct Exposure/ Bagian Garis Lurus

Pada bagian ini densitas mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan logaritma eksposi. Bagian ini merupakan daerah kerja film sinar-x, maksudnya adalah pada bagian ini terjadi perubahan eksposi film. Nilai eksposi film dapat dihitung menggunakan persamaan (Basri, 2002)

$$E = \frac{V^2 \cdot i \cdot t}{(FFD)^2} \quad (2.5)$$

dimana : E = nilai eksposi

V = tegangan tabung (kV)

i = arus tabung (mA)

t = waktu eksposi (s)

FFD = Jarak fokus tabung sinar-x ke permukaan obyek (cm)

2.5.2.3 Over Exposure/ Bagian Bahu

Bagian ini merupakan daerah dengan pemaparan yang berlebihan. Jika nilai penyinaran dinaikkan maka densitas film sudah tidak terpengaruh lagi.

Berdasarkan kurva karakteristik film maka hubungan densitas dan log E adalah linier maka dapat dituliskan dengan persamaan (Tantra, 2014)

$$D = \bar{G} \log E \quad (2.6)$$

Dimana \bar{G} adalah nilai kontras pada film (Tantra, 2014)

$$\bar{G} = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1} \quad (2.7)$$

dengan : D_1 = nilai densitas rendah

D_2 = nilai densitas tinggi

$\log E_1$ = nilai logaritma eksposi untuk D_1

$\log E_2$ = nilai logaritma eksposi untuk D_2

Nilai E merupakan representasi dari nilai intensitas (I), maka nilai koefisien atenuasi (μ) sebuah benda dapat dicari menggunakan (Tantra, 2014)

$$I_1 = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\log I_1 = \log I_0 + \log e^{-\mu x}$$

$$\frac{D_1}{\bar{G}} = \frac{D_0}{\bar{G}} + \log e^{(-\mu x)}$$

$${}^{10}\log e^{(-\mu x)} = \frac{D_1}{\bar{G}} - \frac{D_0}{\bar{G}}$$

$$10^{\frac{D_1 - D_0}{\bar{G}}} = e^{(-\mu x)}$$

$$\ln 10^{\frac{D_1 - D_0}{\bar{G}}} = -\mu x$$

$$\mu = -\frac{\ln 10^{\frac{D_1 - D_0}{\bar{G}}}}{x} \quad (2.8)$$

dengan: D_1 = nilai densitas sampel

D_0 = nilai densitas background

G = nilai kontras film

x = tebal bahan tulang

2.6 Struktur Tulang Manusia

Berdasarkan struktur tulang, tulang dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu kortikal dan *trabecular* tulang. Perbedaan jaringannya ini juga akan membedakan sifat mekanik tulang tersebut, seperti densitas dan porositas tulang. Menurut Huang (2012), rata-rata panjang tulang femur laki-laki dewasa 48 cm dan diameternya 2,84 cm. Menurut Cameron (2006), komposisi kandungan unsur pada tulang dapat dilihat seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi tulang kompak (Femur)

Unsur	kandungan dalam tulang (%)
H	3,4
C	15,5
N	4,0
O	44,0
Mg	0,2
P	10,2
S	0,3
Ca	22,2
Lain-lain	0,2

Menurut Yusita (2011), semakin besar nomor atom bahan, makin besar pula penyerapannya. Dalam Tabel 2.1 unsur yang memiliki nomor atom paling besar adalah unsur kalsium (Ca). Kalsium di dalam tulang ini akan menyerap sinar-x yang paling banyak dari pada jaringan lunak yang berada disekitar tulang. Pada orang muda rata-rata kandungan kalsium pada tulangnya lebih banyak dari pada orang yang tua, sehingga saat dilakukan

penyinaran sinar-x pada tulang masing-masing akan didapatkan perbedaan kehitaman film.

2.7 Karakteristik Bahan

2.7.1 Aluminium Oksida

Aluminium Oksida atau alumina dengan struktur kimia Al_2O_3 merupakan sebuah senyawa dari aluminium dan oksigen. Alumina bersifat sebagai isolator atau penghambat panas. Alumina banyak digunakan sebagai alat pemotong karena memiliki nilai kekerasan yang tinggi. Aluminium oksida berfungsi sebagai pelindung logam aluminium agar tidak terjadi oksidasi atau perkaratan.

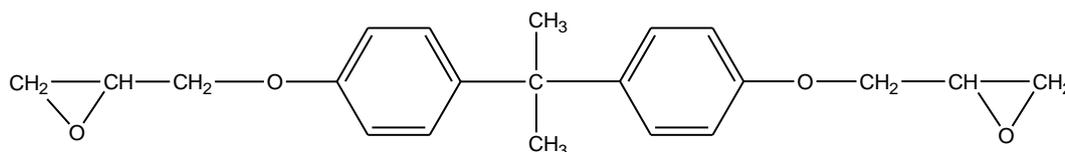
Berdasarkan hasil penelitian Munro (1997), densitas alumina $3,95 \text{ g/cm}^3$, itulah mengapa alumina banyak dimanfaatkan dalam bidang kedokteran karena memiliki ketahanan aus yang baik. Sebagai contohnya alumina dapat digunakan sebagai pengganti sendi buatan, implant gigi, implant koklea (alat bantu dengar), dan peralatan-peralatan medis (Davis, 2010).

2.7.2 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 lewat 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.

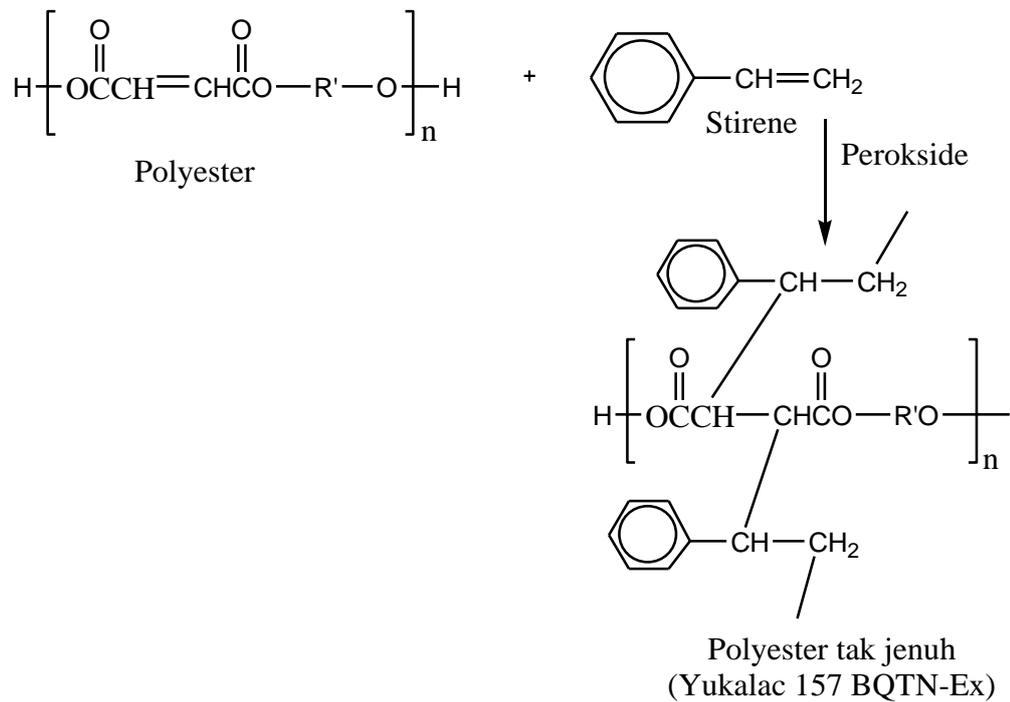
Epoxy resin adalah material yang digunakan dalam pembuatan komposit karena memiliki kelebihan dari pada resin termoset lainnya, seperti memiliki kekuatan yang tinggi, penyusutan rendah dan adhesi yang baik. Epoxy resin juga memiliki viskositas yang dapat dikontrol berdasarkan *glass transition temperature* (Tg).



Gambar 2.11 Struktur kimia epoxy resin (Prasojo, 2009)

Glass transition temperature (Tg) merupakan temperatur dimana terjadi perubahan sifat-sifat atau perilaku mekanik suatu polimer (Hadiyawardman, 2008). Pada pencampuran bahan dilakukan pada suhu diatas nilai Tg, sehingga materi lain dapat dicampur kedalam keadaan epoxy resin dengan viskositas rendah (Urbanik, 2011). Menurut Permana (2014), *glass transition temperature* (Tg) untuk epoxy resin murni sebesar 73⁰C dan densitas epoxy resin murni sebesar 1,11 g/cm^3 .

Polyester tak jenuh merupakan hasil reaksi campuran asam organik (misalnya asam fumirat, asam maleat dan anhidrida ftalat) dengan glikol (misalnya propilen glikol dan dietilen glikol) (Kusnandi, 2010).



Gambar 2.12 Reaksi ikat silang polyester dengan styrene (Sujasman, 2009)

2.8 FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

FTIR biasanya digunakan untuk menganalisis interaksi kecil antara atom atau material, biasanya dikenal dengan interaksi vdW (*Van der walls*). Menurut Masturi (2015), Interaksi dapat diketahui dengan perubahan energi saat sebelum dan sesudah atom mendekat. Saat penambahan atom akan membuat pergeseran pita FTIR sehingga *wave number* sebelum dan sesudah akan mengalami perbedaan, dan dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini

$$|\Delta E| = h \cdot c \cdot \Delta k \quad (2.9)$$

dimana : h = konstanta planck ($6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

c = kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

Δk = perubahan *wave number* sebelum dan setelah atom ditambahkan

Interaksi vdW digambarkan dengan persamaan Lennard Jones (Masturi, 2015)

$$E_{vdW} = 4\varepsilon \left[\left(\frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r} \right)^6 \right] \quad (2.10)$$

dimana: σ = jarak antar atom ketika energi vdW nol

ε = energi ketika atom berada pada jarak kesetimbangan

nilai σ dan ε merupakan nilai Lorentz Berthelot yang khas untuk setiap atom.

Persamaan yang terletak pada kurung siku menggambarkan interaksi atom saat tolak menolak dan tarik menarik.

2.9 Luas Permukaan Atom

Luas permukaan sebuah atom dalam sebuah molekul dapat dicari dengan menggunakan persamaan Allred-Rochow yaitu

$$X = 0,359 \frac{Z^*}{r_{cov}^2} + 0,744 \quad (2.11)$$

dengan: X = luas permukaan atom

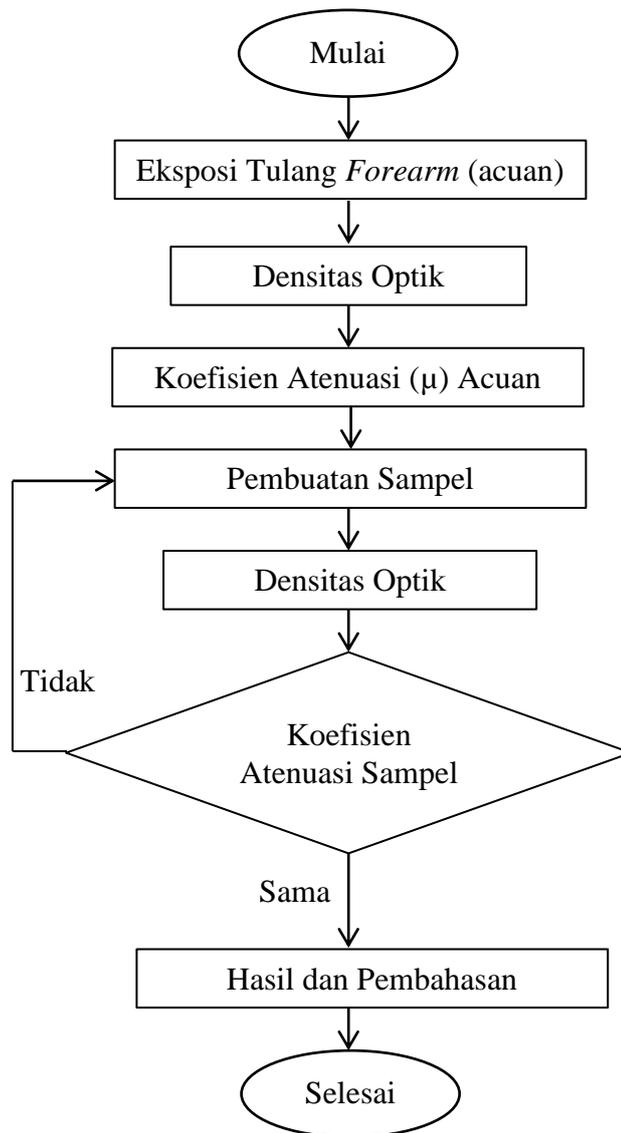
Z^* = muatan inti efektif

r_{cov} = jari-jari kovalen atom (\AA)

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian



Gambar 3.1 Alur penelitian

3.2 Subjek

Penelitian ini dilakukan di laboratorium fisika medik Unniversitas Negeri Semarang (UNNES) dan di POLTEKKES Semarang. Untuk sampel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari satu sampel dalam setiap komposisi dan variasi polimer yang digunakan, untuk lebih memudahkannya dapat dilihat dalam Tabel 3.1 dibawah ini

Tabel 3.1 Komposisi sampel epoxy resin

Nama	Epoxy Resin		Al ₂ O ₃ (g)	Konsentrasi Alumina
	Epoxy (g)	Hardener (g)		
A	22,05	22,05	0,00	0%
B	24,04	24,17	4,82	10%
C	22,07	22,05	8,82	20%
D	22,09	22,00	13,23	30%
E	22,19	22,01	17,68	40%
F	22,03	22,02	22,03	50%

Tabel 3.2 Komposisi sampel polyester resin

Nama	Polyester Resin (g)	Al ₂ O ₃ (g)	Konsentrasi
			Alumina
G	50,01	0,00	0%
H	50,07	5,01	10%
I	50,19	10,04	20%
J	50,03	15,01	30%
K	50,00	20,00	40%
L	50,05	25,03	50%

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel yang digunakan

Variabel bebas : Yang menjadi variabel bebas pada penelitian ini adalah

- (1) komposisi campuran antara *epoxy* resin dengan Al_2O_3 ,
- (2) komposisi campuran antara polyester resin dengan Al_2O_3 .

Variabel terikat : Yang menjadi variabel terikat pada penelitian ini adalah

- (1) Nilai densitas optik setiap sampel.
- (2) Nilai koefisien atenuasi (μ) setiap sampel.

3.4 Pengambilan Data

3.4.1 Bahan

(1) Al_2O_3 ,

produsen : NLM (Nippon Light Metal Company),

tipe : A12,

(2) polyester resin,

distributor : PT. Brataco,

tipe : Yukalac 157 BQTN,

(3) *hardener* resin,

produsen : PT.Kawaguchi Kimia Indonesia,

tipe : Mepoxe,

(4) epoxy resin dan hardener epoxy,

distributor : PT. Brataco,

(5) film,

merk : Agfa.

3.4.2 Alat

- (1) pesawat sinar-x,
 merk/type : Mednif/SF-100BY,
- (2) densitometer,
 merk : Pehamed,
 jenis : Densoquick 2,
- (3) intensifying screen,
 merk : Toshiba,
 jenis : *green sensitive*,
- (4) mesin pencuci film otomatis,
- (5) papan,
- (6) lem,
- (7) timbangan,
- (8) *magnetic stirrer*,
- (9) pipa pralon.

3.4.3 Teknik Pengambilan Data

3.4.3.1 Pembuatan Sampel

Pembuatan sampel epoxy resin dan Al_2O_3

1. Membuat cetakan dari pipa pralon dengan diameter 2,8 cm dan panjang 5 cm, diberi alas dengan papan dibawahnya kemudian di lem.
2. Menimbang epoxy resin, *hardener* epoxy dan Al_2O_3 seperti dalam Tabel 3.1 untuk masing-masing sampel.

3. Memanaskan epoxy dan *hardener* epoxy diatas *magnetic stirrer* pada suhu 75°C selama 15 menit pada wadah yang berbeda.
4. Mencampur epoxy resin, *hardener* epoxy dan serbuk Al_2O_3 secara manual selama 1 menit.
5. Menuang seluruh campuran ke dalam pipa pralon sampai penuh.
6. Memanaskan kembali cetakan pralon yang telah terisi campuran epoxy dan Al_2O_3 diatas *magnetic stirrer* selama 1 menit dengan suhu 75°C .
7. Mendinginkan dalam suhu ruangan sampai campuran benar-benar mengeras.
8. Mengeluarkan campuran dari pipa pralon dan memberi label pada sampel.

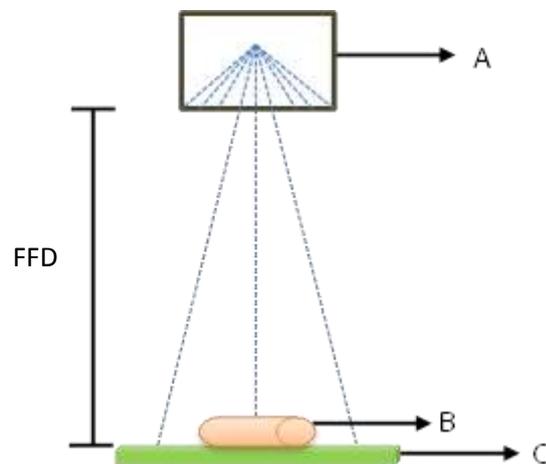
Pembuatan sampel polyester resin dan Al_2O_3 :

1. Membuat cetakan dari pipa pralon dengan diameter 2,8 cm dan panjang 5 cm, diberi alas dengan papan dibawahnya kemudian di lem.
2. Menimbang polyester resin dan Al_2O_3 seperti dalam Tabel 3.2 untuk masing-masing sampel.
3. Memanaskan polyester resin diatas *magnetic stirrer* pada suhu 120°C selama 15 menit.
4. Menambahkan Al_2O_3 kedalam polyester resin kemudian diaduk secara manual selama 1 menit diatas *magnetic stirrer*.
5. ditambahkan *hardener* resin dengan perbandingan resin polyester:*hardener* resin yaitu 100:1.
6. Menuang seluruh campuran ke dalam pipa pralon sampai penuh.

7. Memanaskan kembali cetakan pralon yang telah terisi campuran polyester resin dan Al_2O_3 diatas *magnetic stirrer* selama 1 menit dengan suhu $120^{\circ}C$.
8. Mendinginkan dalam suhu ruangan sampai campuran benar-benar mengeras.
9. Mengeluarkan adonan dari pipa pralon dan memberi label pada sampel.

3.4.3.2 Penyinaran Sampel

Pada tahap ini penyinaran di desain untuk pengukuran nilai densitas optik bahan. Susunan alat penyinaran terlihat pada gambar berikut:



Gambar 3.2 Susunan alat penyinaran untuk mengukur densitas optik sampel

Keterangan : A = Tabung sinar-x

B = Sampel

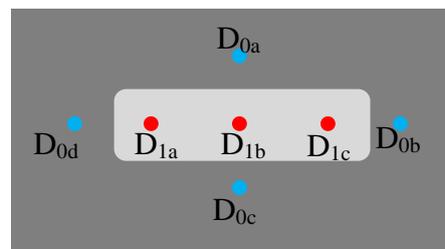
C = Kaset dan film

Pada gambar terlihat sinar-x keluar dari sebuah tabung sinar-x dan mengenai sebuah obyek. Disini lebar jangkauan sinar-x dapat diatur dan

diusahakan disesuaikan dengan obyek. Setelah sinar-x menembus obyek maka akan mengenai kaset. FFD merupakan standar jarak minimum *radiographer* untuk melakukan penyinaran, dalam penelitian ini digunakan 100 cm.

3.4.3.3 Pengukuran Densitas Optik Menggunakan Densitometer

Setelah pencucian film maka radiograf sudah dapat digunakan/diamati. Disini pengukuran densitas optik menggunakan densitometer. Pada setiap sampel dilakukan pengukuran menggunakan densitometer di tiga titik pada gambar yaitu ditepi kanan (D_{1c}), tepi kiri (D_{1a}) dan di tengah (D_{1b}). Selain pengukuran pada gambar, dilakukan juga pengukuran densitas optik pada sekeliling gambar sebanyak empat kali (D_0). Pengukuran tersebut merupakan nilai densitas optik *background* atau densitas optik film yang tidak tertutupi sampel. Semua pengukuran densitas optik tersebut dilakukan pada setiap sampel.



Gambar 3.3 Titik pengukuran densitas optik

3.5 Analisis Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan komposisi epoxy resin, polyester resin dan serbuk Al_2O_3 dengan berbagai komposisi seperti pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.1. Pengukuran yang akan dilakukan ada tiga langkah. Pertama dilakukan eksposi tulang manusia bagian *forearm*, yang kemudian dihitung nilai densitas optik

dan nilai koefisien atenuasinya sebagai acuan phantom. Kemudian pengukuran yang kedua adalah pengukuran kontras pada film yang digunakan. Pengukuran ketiga yaitu mengukur densitas optik pada citra hasil penyinaran dari sampel. Kemudian akan dianalisis koefisien atenuasi (μ) dari setiap sampel.

Pengukuran kontras film dilakukan dengan melakukan eksposi film sebanyak dua kali, yaitu pada tegangan tabung 45 kV dengan faktor eksposi 0,405 dan pada tegangan tabung 55 kV pada faktor eksposi 0,605.

Tabel 3.3 Tabel pengukuran nilai kontras film yang digunakan

Nama	D_1 pada faktor eksposi 0,405	D_1 pada faktor eksposi 0,605	G	\bar{G}
A	
B	
:	:	:	:	...
:	:	:	:	
:	:	:	:	
L	

Selanjutnya dilakukan penyinaran semua sampel, kemudian dilakukan pengukuran densitas optik citra di masing-masing titik seperti pada Gambar 3.3 Titik pengukuran densitas optik. Setelah densitas optik di masing-masing titik diukur selanjutnya dilakukan perhitungan nilai koefisien atenuasi (μ) menggunakan persamaan

$$\mu = - \frac{\ln 10 \frac{D_1 - D_0}{\bar{G}}}{x}$$

Tabel 3.4 Tabel pengukuran koefisien atenuasi (μ)

No	Sampel	D_1	$\overline{D_1}$	D_0	$\overline{D_0}$	μ
1	A	D_{1a}	...	D_{0a}
		D_{1b}		D_{0b}		
		D_{1c}		D_{0c}		
				D_{0d}		
2	B	D_{1a}	...	D_{0a}
		D_{1b}		D_{0b}		
		D_{1c}		D_{0c}		
				D_{0d}		
Dst						

Setelah nilai koefisien atenuasi (μ) tiap-tiap sampel diketahui, maka selanjutnya adalah membandingkan dengan hasil densitas optik tulang bagian *forearm* manusia yang menjadi patokan/acuan nilai koefisien atenuasi (μ) tulang manusia. Sehingga setelah dibandingkan dengan data, nantinya akan diketahui komposisi sampel yang hampir sama dengan nilai koefisien atenuasi (μ) tulang manusia asli.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sampel dibuat dengan variasi Al_2O_3 dan polimer, didapatkan 6 sampel epoxy resin dan 6 sampel polyester resin. Semua sampel berbentuk silinder karena diibaratkan sampel tersebut menyerupai tulang pipa pada manusia. Selain sampel dibuat menggunakan campuran Al_2O_3 dan polimer, dibuat juga sampel dengan komposisi 100% epoxy resin dan 100% polyester resin, hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai densitas optik polimer murni yang digunakan sehingga bisa diketahui koefisien atenuasi (μ) sampel tersebut.

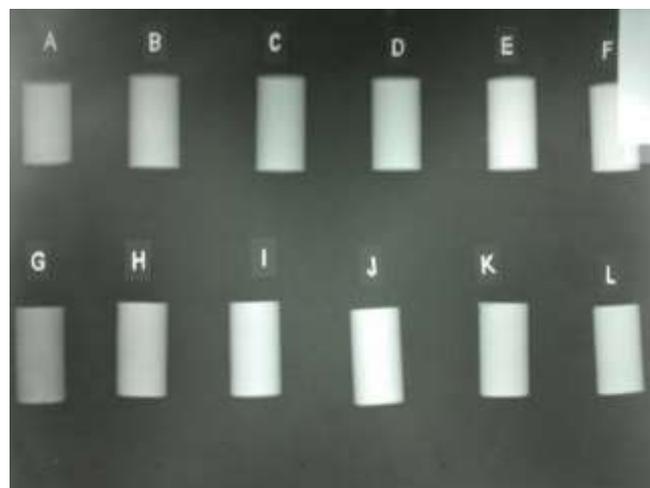
4.1 Eksposi Menggunakan Sinar-X

Sampel di papir menggunakan sinar-x dengan tegangan 55 kV, arus 16 mA, waktu paparan 0,125 s dan FFD 100 cm. Semua parameter sinar-x tersebut dipilih karena merupakan konfigurasi yang biasa digunakan untuk pasien yang melakukan foto *forearm*, sehingga bisa diasumsikan sampel merupakan tulang bagian *forearm* yang sedang dieksposi. Hasil sampel yang sudah dieksposi menggunakan sinar-x kemudian dicetak dalam sebuah film radiograf, ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 55 kV terhadap sampel

Selain sampel dilakukan eksposi menggunakan tegangan 55 kV, sampel juga dieksposi menggunakan tegangan 45 kV sementara untuk arus, waktu dan FFD masih tetap sama. Tegangan 45 kV digunakan untuk eksposi karena untuk mencari nilai kontras film (\bar{G}) yang digunakan selama penelitian.



Gambar 4.2 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 45 kV terhadap sampel

Sebagai acuan untuk menentukan koefisien atenuasi (μ) sampel yang mendekati koefisien atenuasi (μ) phantom, maka dilakukan juga eksposi tulang manusia yaitu pada bagian *forearm*. Pada eksposi *forearm* digunakan

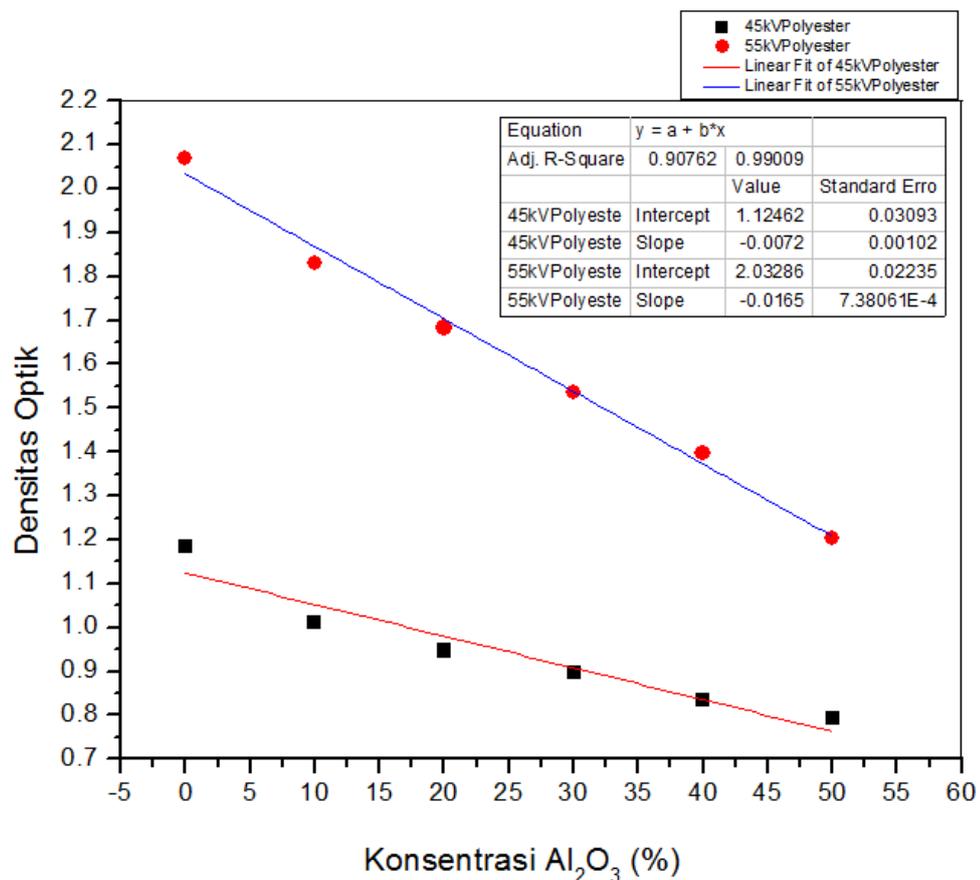
tegangan tabung 55 kV. Untuk hasil radiograf *forearm* seperti pada Gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.3 Film radiograf hasil eksposi sinar-x 55 kV terhadap *forearm*

Hasil citra radiograf pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan perbedaan tegangan tabung sinar-x juga akan memberikan kontras citra yang berbeda walaupun dengan sampel yang memiliki komposisi sama. Radiograf yang disinari menggunakan tegangan tabung 55 kV memiliki gambaran sampel yang lebih gelap dibandingkan dengan radiograf yang diekposi menggunakan tegangan 45 kV. Perbedaan kontras tersebut disebabkan oleh tegangan tabung (kV) akan berpengaruh pada daya tembus sinar-x (Suyatno, 2011). Besarnya tegangan tabung dalam besaran kV akan menentukan panjang gelombang sinar-x yang dihasilkan. Panjang gelombang sinar-x dapat mempengaruhi besarnya sinar-x yang diserap oleh suatu bahan. Semakin pendek panjang gelombang sinar-x (yang dihasilkan oleh kV yang lebih tinggi) maka sinar-x tersebut akan memiliki energi yang semakin tinggi, sehingga akan membuat sinar-x mudah untuk menembus bahan.

Hasil film radiograf kemudian dilakukan pengukuran densitas optik menggunakan densitometer. Pengukuran densitas dilakukan pada sampel di kedua radiograf saat disinari menggunakan 45 kV dan 55 kV. Film radiograf sampel dilakukan pembacaan nilai densitas optik pada masing-masing citra sampel. Nilai pembacaan pada radiograf dilakukan tiga kali pada setiap gambar sampel, ini dimaksudkan agar diketahui apakah sampel yang telah dibuat homogen dalam kerapatan bahannya. Selain pembacaan densitas optik pada gambar sampel, pembacaan juga dilakukan pada empat titik disekitar gambar sampel. Pembacaan ini dimaksudkan untuk membaca nilai densitas *background*.



Gambar 4.4 Densitas optik sampel dengan variasi tegangan

Dari Gambar 4.4 sampel yang dieksposi menggunakan tegangan tabung 55 kV memiliki nilai densitas optik yang lebih tinggi. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Fahmi (2008), densitas radiograf yang dihasilkan pada teknik tegangan tinggi (102 kV-125 kV) akan lebih besar dibandingkan dengan densitas yang dihasilkan oleh tegangan rendah (77 kV).

Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan tabung sinar-x nilai densitas optik juga akan semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena, tegangan tabung yang digunakan mempengaruhi daya tembusnya terhadap sampel.

Menurut Kramer dan Selbach (2008), semakin tinggi nilai kV yang digunakan untuk eksposi suatu benda maka semakin besar pula daya tembusnya terhadap benda tersebut. Saat digunakan tegangan tabung 55 kV, sinar-x memiliki daya tembus yang lebih besar dari pada saat menggunakan tegangan tabung 45 kV. Saat daya tembus sinar-x semakin tinggi maka sinar-x tersebut memiliki kekuatan untuk masuk menembus sampel juga semakin kuat dan semakin banyak. Ketika banyak sinar-x yang menembus bahan, maka sinar-x yang diteruskan ke film juga akan semakin banyak, sehingga film akan nampak gelap.

4.2 Nilai Kontras Film yang Digunakan

Sebelum melakukan perhitungan nilai koefisien atenuasi (μ) maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai kontras film (\bar{G}) yang digunakan. Pada penelitian ini, pengeksposian menggunakan film merk AGFA. Nilai densitas

optik yang telah diperoleh kemudian diolah dan didapatkan nilai kontras film (\bar{G}).

Tabel 4.1 Perhitungan nilai kontars film yang digunakan

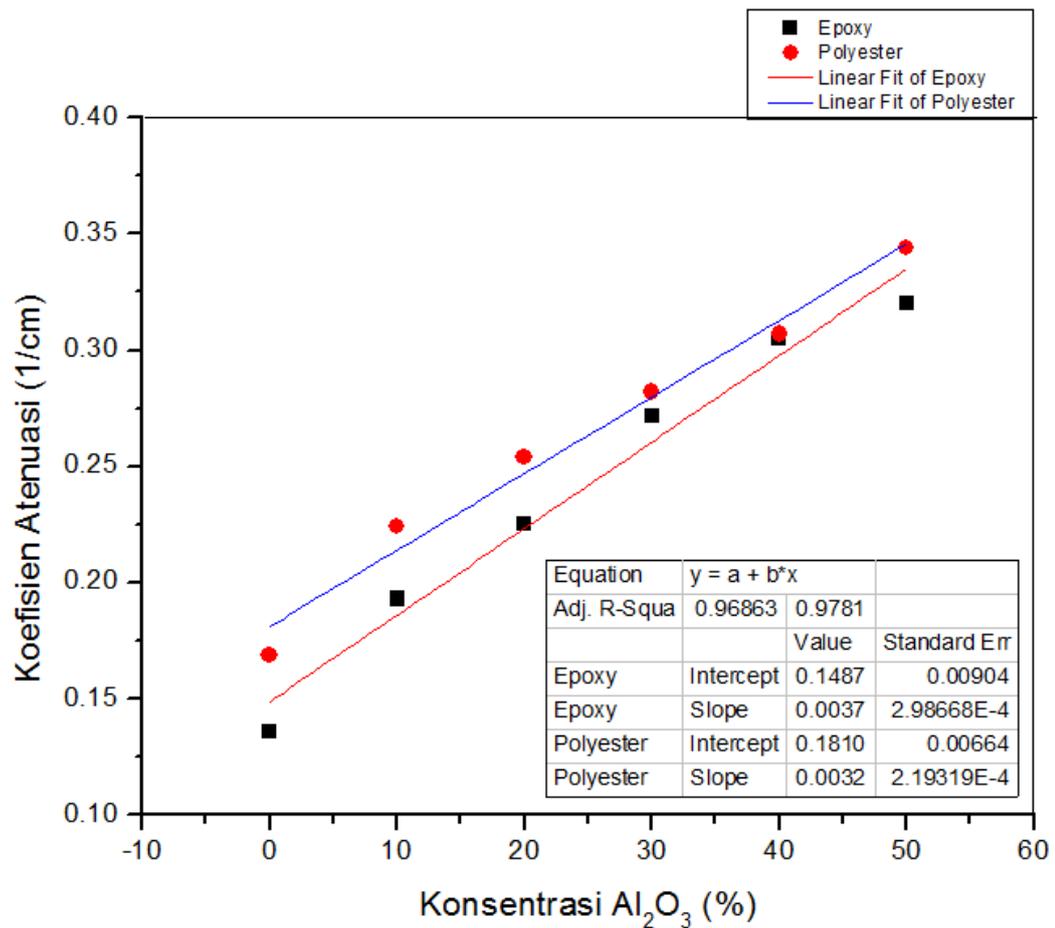
Nama	D ₁ pada faktor eksposi 0,405 (45 kV)	D ₁ pada faktor eksposi 0,605 (55 kV)	G	\bar{G}
A	1,16	1,77	3,46	3,66
B	1,12	1,83	4,11	
C	1,02	1,76	4,26	
D	0,94	1,55	3,50	
E	0,86	1,37	2,93	
F	0,83	1,26	2,43	
G	1,18	2,07	5,09	
H	1,01	1,83	4,70	
I	0,95	1,68	4,23	
J	0,90	1,54	3,67	
K	0,83	1,40	3,23	
L	0,79	1,20	2,35	

4.3 Nilai Koefisien Atenuasi (μ) Sampel

Gambar untuk radiograf yang digunakan dalam perhitungan nilai koefisien atenuasi (μ) sampel yaitu radiograf yang diekspose menggunakan tegangan tabung 55 kV. Pada Gambar 4.1 sampel A hingga F merupakan sampel yang terbuat dari Al₂O₃ dan epoxy resin. Sampel G hingga L merupakan sampel yang terbuat dari Al₂O₃ dan polyester resin.

Tabel 4.2 Koefisien atenuasi (μ) sampel yang dipapar sinar-x 55 kV

	Konsentrasi Al_2O_3	Nama	\overline{D}_1	\overline{D}_0	$\mu(cm^{-1})$
Epoxy Resin	0%	A	1,767	2,370	0,136
	10%	B	1,833	2,693	0,193
	20%	C	1,760	2,763	0,225
	30%	D	1,553	2,763	0,272
	40%	E	1,373	2,730	0,305
	50%	F	1,257	2,683	0,320
Polyester Resin	0%	G	2,070	2,820	0,169
	10%	H	1,830	2,825	0,224
	20%	I	1,683	2,813	0,254
	30%	J	1,537	2,793	0,282
	40%	K	1,397	2,763	0,307
	50%	L	1,203	2,733	0,344

Gambar 4.5 Grafik koefisien atenuasi (μ) sampel

Dari Gambar 4.5 dapat dilihat semakin banyak kandungan Al_2O_3 dalam sampel mengakibatkan semakin besar pula nilai koefisien atenuasi (μ) yang dimilikinya, baik itu pada sampel epoxy resin ataupun pada polyester resin. Menurut Suyatno (2011), besarnya penyerapan oleh bahan tergantung dari hal berikut: (1) panjang gelombang sinar-x, (2) susunan objek, (3) ketebalan dan (4) kerapatan bahan. Hasil dari Gambar 4.6 yang menggambarkan semakin banyak kandungan Al_2O_3 dalam sampel maka semakin besar pula nilai koefisien atenuasi (μ), menunjukkan bahwa susunan kerapatan partikel di dalam objek akan mempengaruhi nilai koefisien atenuasi (μ).

Selain susunan kerapatan partikel di dalam objek, penyerapan sinar-x juga tergantung dari nomor atom unsur yang disinari sinar-x. Menurut Yusita (2011), semakin besar nomor atom bahan, makin besar pula penyerapannya. Jadi semakin besar nomor atom sebuah unsur maka semakin baik pula unsur tersebut menyerap sinar-x yang mengenainya. Pada penelitian ini digunakan Al_2O_3 sebagai *filler*, karena Al_2O_3 memiliki nilai M_r (massa molekul *relative*) yang cukup besar yaitu 50 sma. 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 Al_2O_3 dalam sampel, densitas optik sampel akan semakin kecil, tetapi nilai koefisien atenuasi (μ) akan semakin besar.

Sebagai pengikat Al_2O_3 digunakan komposit polimer. Saat ini komposit polimer menjadi pengganti material logam pada berbagai industri,

dikarenakan material ini lebih ringan dan memiliki kekuatan yang baik. Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa polyester resin dan epoxy resin. Polyester dan epoxy ini termasuk dalam polimer yang memiliki sifat *thermoset*, sehingga akan mengeras melalui reaksi kimia, sehingga lebih mudah untuk pembentukannya.

Nilai koefisien atenuasi (μ) pada masing-masing sampel telah dilakukan perhitungan seperti pada Tabel 4.2 diatas. Selanjutnya adalah perhitungan koefisien atenuasi (μ) dari tulang manusia sebagai acuannya. Dalam penelitian ini tulang yang digunakan sebagai acuan adalah tulang bagian *forearm*.

Tabel 4.3 Perhitungan nilai koefisien atenuasi (μ) tulang

Nama	D_1	\bar{D}_1	D_0	\bar{D}_0	$\mu(cm^{-1})$
Tulang	0,710	0,698	2,010	2,000	0,293
	0,690		2,000		
	0,710		1,980		
	0,680		2,010		

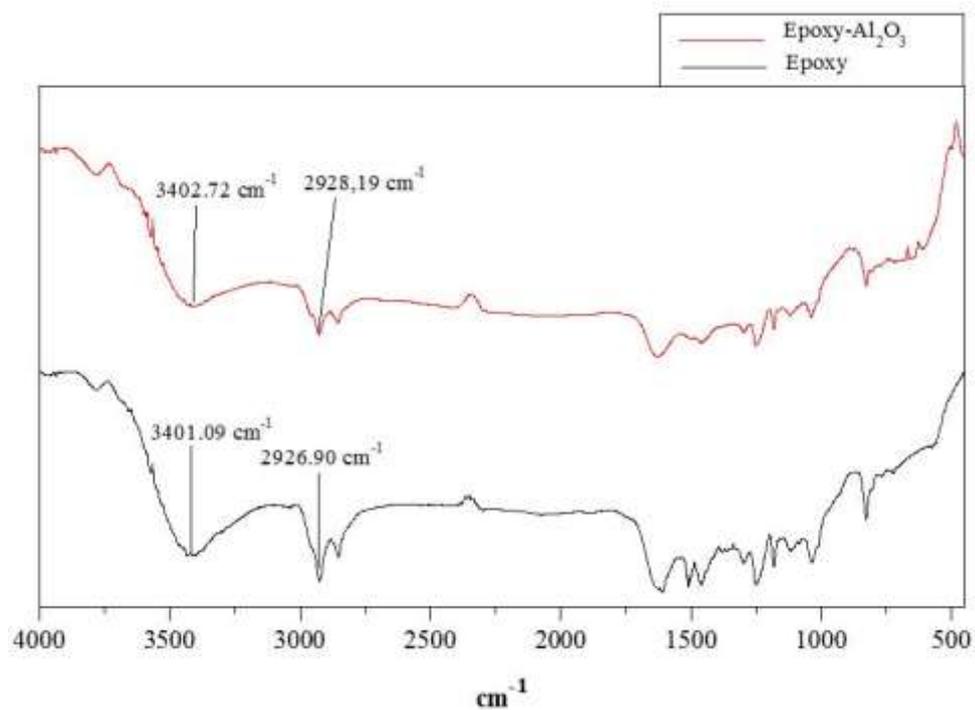
Hasil perhitungan menunjukkan nilai koefisien atenuasi (μ) tulang *forearm* sebesar $0,293\text{ cm}^{-1}$. Dengan begitu nilai koefisien atenuasi (μ) acuan untuk membuat rancang bangun phantom adalah $0,293\text{ cm}^{-1}$. Nilai koefisien atenuasi (μ) sampel kemudian dibandingkan dengan koefisien atenuasi (μ) acuan.

Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai koefisien atenuasi (μ) yang paling mendekati acuan adalah polyester resin dengan kandungan Al_2O_3 30% yang menghasilkan nilai koefisien atenuasi (μ) sebesar $0,282\text{ cm}^{-1}$, sedangkan untuk epoxy resin pada sampel yang memiliki kandungan Al_2O_3 40% menghasilkan nilai koefisien atenuasi (μ) sebesar $0,305\text{ cm}^{-1}$. Penelitian ini didapatkan

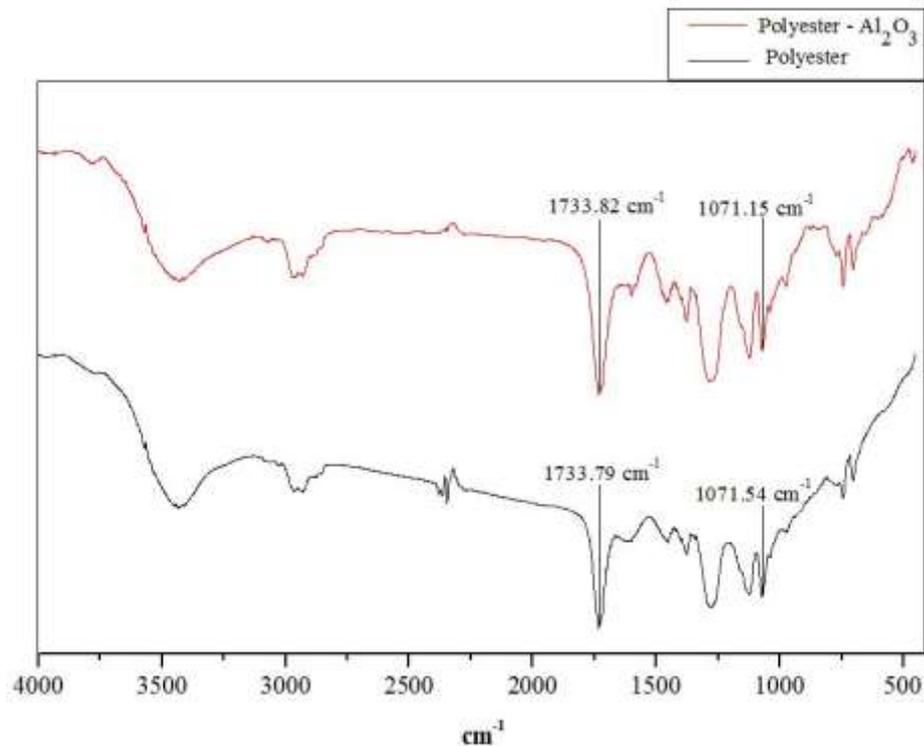
bahwa epoxy resin lebih banyak membutuhkan *filler* Al_2O_3 dibandingkan polyester resin untuk mencapai nilai koefisien atenuasi (μ) phantom.

4.4 Analisis FTIR

Uji FTIR ini digunakan untuk mengetahui perubahan struktur ikatan antar atom yang ada di dalam sebuah sampel, pada penelitian ini khususnya untuk mengetahui interaksi antara epoxy resin dan polyester resin ketika ditambahkan Al_2O_3 . Sampel yang dilakukan uji FTIR adalah sampel epoxy resin murni, epoxy resin- Al_2O_3 5%, polyester resin murni dan polyester resin- Al_2O_3 5%.

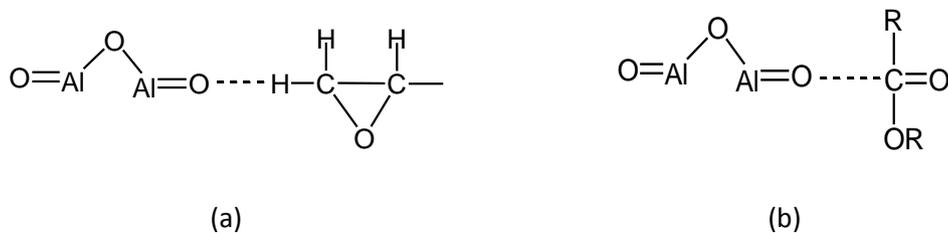


Gambar 4.6 Hasil uji FTIR pada sampel epoxy resin murni dan epoxy resin – Al_2O_3 5%



Gambar 4.7 Hasil uji FTIR pada sampel polyester resin murni dan polyester resin – Al_2O_3 5%

Pada Gambar 4.6 dapat terlihat adanya pergeseran pita ikatan antara epoxy sebelum dan sesudah ditambahkan Al_2O_3 , begitu pula pada Gambar 4.7 polyester sebelum dan sesudah ditambahkan Al_2O_3 memiliki *wave number* yang berbeda. Pada Gambar 4.8a merupakan dugaan interaksi yang dialami Al_2O_3 dengan grup epoxide pada epoxy resin dan Gambar 4.8b Al_2O_3 dengan grup ester dari polyester resin.



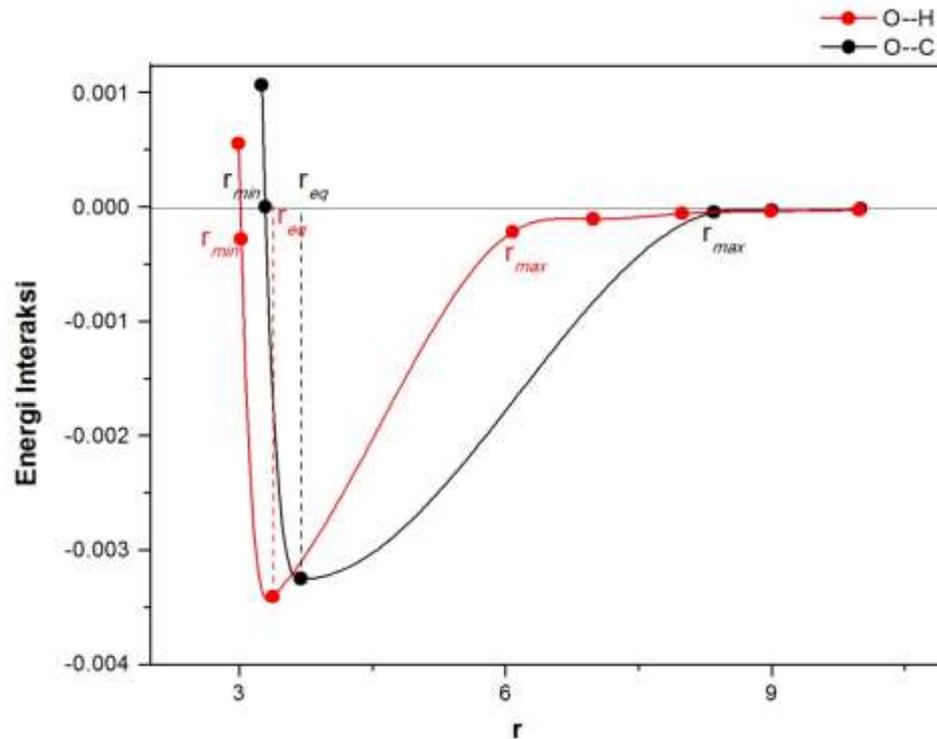
Gambar 4.8 Interaksi *Van der waals* antara (a) Al_2O_3 dengan grup epoxide dari epoxy resin (b) Al_2O_3 dengan grup ester dari polyester resin

Pada penelitian ini diduga ada sebuah gaya *Van der waals* antara atom O dan H (Gambar 4.8a). Hasil FTIR (Gambar 4.6) kemudian dilakukan analisis besarnya gaya interaksi antara atom O dan H tersebut. Hasil analisis diperoleh adanya pergeseran pita O--H sebelum penambahan Al_2O_3 dan sesudah penambahan Al_2O_3 . Nilai k sebelum penambahan Al_2O_3 sebesar $3401,09 \text{ cm}^{-1}$ setelah penambahan nilai k sebesar $3402,72 \text{ cm}^{-1}$. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan vibrasi antar atom O--H terjadi pada jarak minimum dan maksimum $3,03 \text{ \AA}$ dan $6,09 \text{ \AA}$ serta jarak kesetimbangannya sebesar $3,39 \text{ \AA}$.

Pada Gambar 4.8b diduga juga terjadi interaksi antara atom O dengan atom C. Dari hasil uji FTIR (Gambar 4.7) juga terdapat pergeseran pita O--C, nilai k sebelum penambahan Al_2O_3 $1071,54 \text{ cm}^{-1}$ dan setelah penambahan Al_2O_3 nilai k sebesar $1071,15 \text{ cm}^{-1}$. Didapatkan jarak kesetimbangan antar atom O--C sebesar $3,69 \text{ \AA}$ dan bervibrasi antara $3,29 \text{ \AA}$ dan $8,35 \text{ \AA}$.

Tabel 4.4 Jarak interaksi antar atom

Sampel	Interaksi Atom	Jarak Kesetimbangan (\AA)	Jarak Minimum (\AA)	Jarak Maksimum (\AA)
Epoxy Resin	O---H	3,39	3,03	6,09
Polyester Resin	O---C	3,69	3,29	8,35



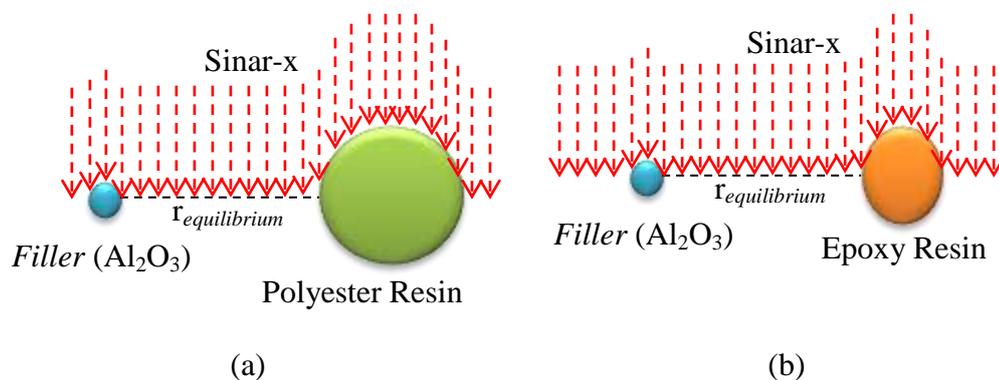
Gambar 4.9 Grafik potensial Lennard Jones epoxy- Al_2O_3 dan polyester- Al_2O_3

Gambar 4.9 merupakan grafik penggambaran dari Tabel 4.4. Pada penelitian ini diduga adanya interaksi *Van der Waals* antara atom penyusun Al_2O_3 dengan epoxy resin dan polyester resin. Ketika jarak antara dua buah atom kurang dari jarak kesetimbangannya (r_{eq}) maka kedua buah atom tersebut akan saling tolak menolak, tetapi apabila jarak kedua buah atom tersebut melebihi jarak kesetimbangan maka kedua atom tersebut akan saling tarik menarik satu sama lain. Jarak kesetimbangan merupakan jarak antara dua buah atom dalam keadaan tidak ada gangguan dari luar. Gangguan dari luar bisa berupa perubahan tekanan, perubahan suhu dan lain sebagainya. Ketika ada gangguan dari luar maka atom-atom tersebut akan bervibrasi disekitar jarak kesetimbangannya. Vibrasi antara dua atom tersebut memiliki batasan

yang khas untuk setiap interaksi atom, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 atom O--H akan memiliki jarak maksimum dan jarak minimum berbeda dengan interaksi atom O--C.

Dengan diketahuinya jarak kesetimbangan, jarak minimum dan jarak maksimum interaksi atom maka dapat diketahui bahwa sinar-x dapat lewat diantara celah antara molekul *filler* dan molekul polimer pada berbagai kondisi suhu. Hal tersebut dikarenakan tegangan tabung yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 55 kV yang menghasilkan panjang gelombang minimum sinar-x sebesar 0,22 Å. Jadi analisis FTIR ini digunakan untuk membuktikan bahwa sinar-x yang ditembakkan pada sampel akan lolos begitu saja karena panjang gelombang sinar-x jauh lebih kecil dari pada jarak antara molekul-molekul penyusun sampel, sedangkan penjelasan mengenai penyerapan sinar-x akan dibahas menggunakan analisis luas permukaan molekul.

4.5 Analisis Luas Permukaan Molekul



Gambar 4.10 Simulasi interaksi yang terjadi antara molekul (a) Al_2O_3 -polyester resin (b) Al_2O_3 -epoxy resin

Pada Gambar 4.10 merupakan sebuah pemodelan yang sangat sederhana untuk menunjukkan bahwa luas permukaan molekul akan mempengaruhi jumlah sinar-x yang diserap oleh suatu bahan. Saat sinar-x ditembakkan pada sebuah sampel yang terdiri dari molekul *filler* dan molekul polimer. Molekul-molekul tersebut dipisahkan oleh jarak kesetimbangan (r_{eq}). Ketika sinar-x mengenai susunan molekul-molekul tersebut maka terdapat sinar-x yang mengenai molekul dan ada pula sinar-x yang melewati celah antara molekul-molekul tersebut. Ketika sinar-x mengenai permukaan sebuah molekul maka sinar-x tersebut sebagian akan diserap oleh molekul tersebut. Sedangkan sinar-x yang melewati celah antar molekul akan lolos begitu saja tanpa diserap sedikitpun.

Luas permukaan atom dapat dicari menggunakan persamaan

$$X = 0,359 \frac{Z^*}{r_{cov}^2} + 0,744$$

Al_2O_3 memiliki luas permukaan $14,72 \text{ \AA}^2$, polyester resin memiliki luas permukaan $171,86 \text{ \AA}^2$ dan epoxy resin memiliki luas permukaan $152,98 \text{ \AA}^2$. Dari luas permukaan yang didapatkan tersebut dapat diketahui antara polyester resin dan epoxy resin yang lebih banyak menyerap sinar-x adalah polyester resin. Ini dikarenakan luas permukaan molekul polyester resin (Gambar 4.10a) lebih luas dari pada luas permukaan epoxy resin (Gambar 4.10b). Ini sesuai dengan hasil data pengukuran koefisien atenuasi (μ) dalam subbab sebelumnya, bahwa nilai koefisien atenuasi (μ) polyester lebih tinggi dari pada epoxy resin sehingga polyester resin lebih banyak menyerap sinar-x. Jadi selain penyerapan sinar-x di pengaruhi oleh nomor atom suatu bahan,

diduga penyerapan sinar-x juga dipengaruhi oleh luas permukaan molekul bahan yang digunakan.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

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

1. Nilai koefisien atenuasi (μ) phantom yang digunakan sebagai acuan pembuatan alternatif phantom didapatkan dari eksposi tulang *forearm* adalah sebesar $0,293 \text{ cm}^{-1}$.
2. Komposisi pembuatan *cortical bone* phantom yang sesuai dengan acuan adalah menggunakan polyester resin merk Yukalac 157 BQTN dengan kandungan Al_2O_3 30%.

5.2 Saran

Setelah melakukan analisis pada penelitian ini, pada penelitian selanjutnya disarankan untuk

1. Membandingkan nilai koefisien atenuasi (μ) phantom jaringan lain menggunakan komposisi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B., Hardianto, V. & Arif, A. 2008. Densitometer Film Radiografi Portabel Berbasis Mikrokontroler. *Media Elektrik 2* (2):1-6.
- Akar, A., Baltas, H., Cevik, U., Kormaz, F. & Okumusoglu, N.T. 2006. Measurement of attenuation coefficients for bone, muscle, fat and water at 140, 364 and 662 keV γ -ray energies. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer* 102:203-211.
- Anonim. 2013. *Cara kerja pesawat sinar-x*. Pelatihan uji kesesuaian pesawat sinar-x. Jakarta: Balai Pendidikan Dan Pelatihan Badan Pengawas Tenaga Nuklir
- Anonimous. 2009. *Dental Radiografi Prinsip dan Teknik*. Tersedia di <http://www.usupress.html> [diakses 24-01-2015].
- Basri, H. 2002. *Studi Perbandingan Karakteristik Film Sinar-X Emulsi Tunggal dan Emulsi Ganda*. Skripsi. Semarang: FMIPA Universitas Diponegoro.
- Cameron, J. R., Skofronick, J. G & Grant, R. M. 2006. *Fisika Tubuh Manusia*. Jakarta: EGC.
- Davis, K. 2010. Material Review: Alumina (Al_2O_3). *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*: 109-114.
- Dhahryan, Budi, W. S., & Azam, M. 2008. Pengaruh Teknik Tegangan Tinggi terhadap Entrasca Skin Exposure (ESE) dan Laju Paparan Radiasi Hambur pada Pemeriksaan Abdomen. *Berkala Fisika* 11 (3):103-108.
- Fahmi Arif, Firdausi, K. S. & Budi, W. S. 2008. Pengaruh Faktor Eksposi pada Pemeriksaan Abdomen Terhadap Kualitas Radiograf dan Paparan Radiasi Menggunakan Computed Radiography. *Berkala Fisika* 11 (4):109-118.
- Fauber, T. L. 2013. *Radiographic Imaging and Exposure (4th ed.)*. United Kingdom: elsevier health sciences publisher.
- Febriani, S. D. A. 2013. *Optimalisasi Dosis Serap Dan Kontras Radiograf Dengan Permodelan Phantom Akrilik*. Skripsi. Jember: Universitas Jember.
- Gabriel, J. F. 1996. *Fisika Kedokteran*. Jakarta: buku Kedokteran EGC Edisi VII.
- Hadiyawarman, Rijal, A., Nuryadin, B.W., Abdullah, M., & Khairurrijal. 2008. Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan dan Transparan

- Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(1): 14-21.
- Hanna, Szczepanowska & Wayne, Wilson. 2008. Permanency Of Reprographic Images On Polyester Film. *JAIC: Journal of The American Institute for Conservation*, 39(3):371-390.
- Huang, B. W. 2012. Dynamic Characteristics of a Hollow Femur. *Life Science Journal*, 9(1): 723-726.
- Kaupp Martin, Metz Bernhard & Stoll Hermann. 2000. Breakdown of Bond Length-Bond Strength Correlation: A Case Study. *Angewandte Chemie International Edition*, 39(24): 4607-4609.
- Kojima Kazuhiro & Kaneko Koichi. 2004. *Resin for Optics 1. Light-Curing Resin 2. Heat-Curing Resin*. Tokyo: Three Bond Co., Ltd.
- Kramer, H. M., & 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.
- Krane, K.S., 1992, *Fisika Modern*, terjemahan : Hans J. Wospakrik, UI Press, Jakarta.
- Kurnianto Kristedjo, Putra, I. M., & Susila I Putu. 2013. Perekayasaan Perangkat Radiograf Digital untuk Industri. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Perekayasaan Perangkat Nuklir*. Tangerang Selatan: BATAN.
- Kusnandi, A. S. 2010. *Resin Poliester Tak Jenuh untuk Imobilisasi Resin Bekas Pengolah Simulasi Limbah Radioaktif Cair*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Masrochah, S. 2000. *Pengaruh Peningkatan Tegangan Tabung Sinar-X terhadap Kontras Radiografi dan Laju Dosis Serap Radiasi*. Skripsi. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Masturi & Sunarno. 2015. Estimation of Van der Waals Interaction Using FTIR Spectroscopy. *Advanced Materials Research* 1123:61-64.
- Meredith, W. J. & Massey. 1997. *Fundamental Physic of Radiology* (3rd ed.). Jhon Wright and Sons Ltd, Brisbol.
- Moilanen, P., Kilappa, V., Nicholson, P. H. F., Timonen, J.,† & Cheng, S. 2004. Thickness Sensitivity of Ultrasound Velocity in Long Bone Phantoms. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 30(11): 1517- 1521.
- Munro RG. 1997. Evaluated Material Properties for a Sintered alpha-Al₂O₃. *Journal of the American Ceramic Society*,80: 1919-1928.

- Permana Enda. 2014. Pengaruh Filler Organoclay Terhadap Kekuatan Bending Material Nanokomposit Epoxy-Organoclay. *TORSI*, XII(1)
- Prasojo, W. A., Syukur, A. & Yuningtyastuti. 2009. *Analisis Partial Discharge pada Material Polimer Resin Epoksi dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang*. Tugas Akhir. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Putra, K. P. 2012. *Pengaruh Perbedaan Tegangan Alat Radiografi Gigi Terhadap Kualitas Densitas Gambar Radiografi Periapikal*. Skripsi. Jember: FKG Universitas Jember.
- Savitri, R. E. 2014. *Optimasi Faktor Eksposi pada Sistem Radiografi Digital Menggunakan Analisis CNR (Contrast To Noise Ratio)*. Skripsi. Semarang: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Simon, G. 1986. *X-Ray Diagnosis for Clinical Students and Practitioner*. Alih bahasa oleh Rasad, S., Sasmitiatmaja, G. I., Purwohudoyo, S., dan Tanpati, S. K. London: Butter Worths.
- Sjahriar Rasad, Sukonto Kartoleksono dan Iwan Ekayuda, 2001, *Radiologi Diagnostik*, FK UI Jakarta.
- Sprawls, P. 1995. *Physical Principles of Medical Imaging (2nd ed.)*. United States: Medical Physics Publishing.
- Sujasman Adi. 2009. *Penyediaan Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit (KKS) dengan Resin Poliester Tak Jenuh (Yukalac 157 Bqtn-Ex)*. Tesis. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Sumarni & Mart Terry. 2000. Penentuan Energi Efektif Sinar-X Radiodiagnostik. *Prosiding Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, VIII: 206-2012.
- Suyatno & Bachtiar, S. 2011. Analisis Pembentukan Gambar dan Batas Toleransi Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar-X Diagnostik. *Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta*: 157-163.
- Tantra, D. A. 2014. *Studi Pembuatan Perisai Radiasi Tembus Pandang dengan Paduan Timbal Acrylic sebagai Alternatif Pengganti Kaca Timbal*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Urbanik, M. 2011. A Relationship Between the Glass Transition Temperature and the Conversion Degree in the Curing Reaction of EPY Epoxy System. *Polimery*, 56(3): 240-243.
- Vassileva, J. 2004. A Phantom Approach to Find The Optimal Technical Parameters for Plain Chest Radiography. *The British Journal of Radiology* 77: 648-653.

- Widyanti, K. N., Noor, J. A. E., & Juswono, U. P. 2013. Penentuan dan Pengukuran Dosis Serap Radiasi Sinar-X pada Permukaan Pantom Kepala (Skull Phantom) Menggunakan Metode Entrance Skin Exposure (ESE). *Physics Student Journal*, 1(1): 164-169. Tersedia di <http://physics.studentjournal.ub.ac.id/index.php/psj/article/view/60/46> [diakses 01-03-2014].
- Wydra, A. 2013. *Development of a New Forming Process to Fabricate a Wide Range of Phantoms that Highly Match the Acoustical Properties of Human Bone*. Tesis. Canada: University of Windsor.
- Yusita Evi. 2011. *Pengujian Linieritas Keluaran Pembangkit Arus Sinar X Menggunakan Stepwedge*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatra Utara.

LAMPIRAN

1. Hasil Pengukuran Densitas Optik Sampel dan Perhitungan Koefisien

Atenuasi (μ) Sampel pada Tegangan 45 kV

Tegangan : 45 kV

Arus : 16 mA

Waktu : 0,125 s

FFD : 100 cm

Nilai Eksposi : 0,405

	Konsentrasi Alumina	Nama	D_1	\overline{D}_1	D_0	\overline{D}_0	μ (cm^{-1})
Epoxy Resin	0%	A	1,140 1,180 1,170	1,163	1,540 1,710 1,710 1,560	1,630	0,105
	10%	B	1,110 1,120 1,120	1,117	1,770 1,750 1,820 1,830	1,793	0,152
	20%	C	1,020 1,020 1,010	1,017	1,880 1,860 1,850 1,860	1,863	0,190
	30%	D	0,950 0,950 0,930	0,943	1,860 1,860 1,860 1,870	1,863	0,207
	40%	E	0,860 0,870 0,860	0,863	1,830 1,810 1,840 1,810	1,823	0,216

	50%	F	0,820 0,840 0,840	0,833	1,780 1,740 1,800 1,800	1,780	0,213
Polyester Resin	0%	G	1,200 1,190 1,160	1,183	1,800 1,710 1,870 1,870	1,813	0,141
	10%	H	0,990 1,020 1,020	1,010	1,860 1,860 1,870 1,860	1,863	0,192
	20%	I	0,940 0,950 0,950	0,947	1,860 1,860 1,880 1,890	1,873	0,208
	30%	J	0,880 0,900 0,910	0,897	1,890 1,870 1,860 1,880	1,875	0,220
	40%	K	0,820 0,840 0,840	0,833	1,820 1,850 1,830 1,840	1,835	0,225
	50%	L	0,800 0,800 0,780	0,793	1,800 1,840 1,800 1,820	1,815	0,230

2. Hasil Pengukuran Densitas Optik Sampel dan Perhitungan Koefisien

Atenuasi (μ) Sampel pada Tegangan 55 kV

Tegangan : 55 kV

Arus : 16 mA

Waktu : 0,125 s

FFD : 100 cm

Nilai Eksposi : 0,605

	Konsentrasi Alumina	Nama	D_1	\overline{D}_1	D_0	\overline{D}_0	μ (cm^{-1})
Epoxy Resin	0%	A	1,710 1,820 1,770	1,767	2,150 2,580 2,600 2,150	2,370	0,136
	10%	B	1,800 1,840 1,860	1,833	2,600 2,710 2,680 2,780	2,693	0,193
	20%	C	1,730 1,770 1,780	1,760	2,710 2,780 2,770 2,790	2,763	0,225
	30%	D	1,540 1,560 1,560	1,553	2,750 2,760 2,770 2,770	2,763	0,272
	40%	E	1,340 1,390 1,390	1,373	2,730 2,710 2,720 2,760	2,730	0,305
	50%	F	1,260 1,260 1,250	1,257	2,680 2,650 2,700 2,700	2,683	0,320

Polyester Resin	0%	G	2,070 2,070 2,070	2,070	2,830 2,810 2,830 2,810	2,820	0,169
	10%	H	1,800 1,870 1,820	1,830	2,830 2,820 2,830 2,820	2,825	0,224
	20%	I	1,670 1,690 1,690	1,683	2,820 2,830 2,800 2,800	2,813	0,254
	30%	J	1,530 1,560 1,520	1,537	2,800 2,770 2,820 2,780	2,793	0,282
	40%	K	1,410 1,390 1,390	1,397	2,770 2,770 2,760 2,750	2,763	0,307
	50%	L	1,210 1,210 1,190	1,203	2,710 2,780 2,770 2,670	2,733	0,344

3. Hasil Pengukuran Densitas Optik Tulang dan Perhitungan Koefisien

Atenuasi (μ) Tulang

Tegangan : 55 kV

Arus : 16 mA

Waktu : 0,125 s

FFD : 100 cm

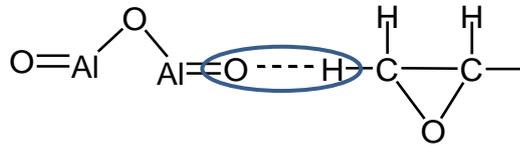
Nilai Eksposi : 0,605

Nama	D_1	$\overline{D_1}$	D_0	$\overline{D_0}$	μ (cm^{-1})
Tulang	0,710	0,698	2,010	2,000	0,293
	0,690		2,000		
	0,710		1,980		
	0,680		2,010		

4. Perhitungan Kontras Film

	Konsentrasi Alumina	Nama	Faktor Eksposi 0,405		Faktor Eksposi 0,605		G	\bar{G}
			D_1	\bar{D}_1	D_0	\bar{D}_0		
Epoxy Resin	0%	A	1,14	1,16	1,71	1,77	3,46	3,66
			1,18		1,82			
			1,17		1,77			
	10%	B	1,11	1,12	1,80	1,83	4,11	
			1,12		1,84			
			1,12		1,86			
20%	C	1,02	1,02	1,73	1,76	4,26		
		1,02		1,77				
		1,01		1,78				
30%	D	0,95	0,94	1,54	1,55	3,50		
		0,95		1,56				
		0,93		1,56				
40%	E	0,86	0,86	1,34	1,37	2,93		
		0,87		1,39				
		0,86		1,39				
50%	F	0,82	0,83	1,26	1,26	2,43		
		0,84		1,26				
		0,84		1,25				
Polyester Resin	0%	G	1,20	1,18	2,07	2,07	5,09	
			1,19		2,07			
			1,16		2,07			
	10%	H	0,99	1,01	1,80	1,83	4,70	
			1,02		1,87			
			1,02		1,82			
20%	I	0,94	0,95	1,67	1,68	4,23		
		0,95		1,69				
		0,95		1,69				
30%	J	0,88	0,90	1,53	1,54	3,67		
		0,90		1,56				
		0,91		1,52				
40%	K	0,82	0,83	1,41	1,40	3,23		
		0,84		1,39				
		0,84		1,39				
50%	L	0,80	0,79	1,21	1,20	2,35		
		0,80		1,21				
		0,78		1,19				

5. Perhitungan Interaksi Van der Walls menggunakan FTIR



Interaksi atom O---H

$$\epsilon_{OO} = 3,70 \times 10^{-3} \text{ eV}$$

$$\sigma_{OO} = 3,11 \text{ \AA}$$

$$\epsilon_{HH} = 3,18 \times 10^{-3} \text{ eV}$$

$$\sigma_{HH} = 2,93 \text{ \AA}$$

$$k_1 = 3402,72 \text{ cm}^{-1}$$

$$k_2 = 3401,09 \text{ cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{OH} &= \sqrt{\epsilon_{OO} \times \epsilon_{HH}} \\ &= \sqrt{3,70 \times 10^{-3} \times 3,18 \times 10^{-3}} \\ &= \sqrt{11,77 \times 10^{-9}} \\ &= 3,43 \times 10^{-3} \text{ eV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{OH} &= \frac{\sigma_{OO} + \sigma_{HH}}{2} \\ &= \frac{3,11 + 2,93}{2} \\ &= 3,02 \text{ \AA} \end{aligned}$$

$$\Delta E = h \cdot c \cdot \Delta k$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot (3402,72 \text{ cm}^{-1} - 3401,09 \text{ cm}^{-1})$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 1,63 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 163 \text{ m}^{-1}$$

$$= 32,42 \times 10^{-24} \text{ J} \times 6,24 \times 10^{18}$$

$$= 2,02 \times 10^{-4} \text{ eV}$$

$$E = 4\epsilon_{OH} \left[\left(\frac{\sigma_{OH}}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{OH}}{r} \right)^6 \right]$$

$$-2,02 \times 10^{-4} = 4 \times 3,43 \times 10^{-3} \left[\left(\frac{3,02}{r} \right)^{12} - \left(\frac{3,02}{r} \right)^6 \right]$$

$$= \frac{7896,55}{r^{12}} - \frac{10,41}{r^6} + 2,02 \times 10^{-4} \times r^{12}$$

$$= 7896,55 - 10,41r^6 + 2,02 \times 10^{-4}r^{12}$$

$$\text{Hasil } r_1 = 6,09 \text{ \AA}$$

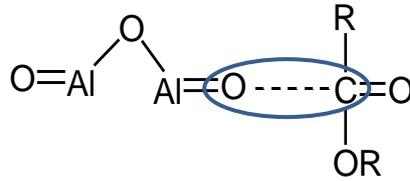
$$r_2 = 3,03 \text{ \AA}$$

$$r_{eq} = \sqrt[6]{2} \times \sigma_{OH}$$

$$= \sqrt[6]{2} \times 3,02$$

$$= 3,39 \text{ \AA}$$

$$\text{Hasil } r_{eq} = 3,39 \text{ \AA}$$



Interaksi atom O---C

$$\epsilon_{OO} = 3,70 \times 10^{-3} \text{ eV}$$

$$\sigma_{OO} = 3,11 \text{ \AA}$$

$$\epsilon_{CC} = 2,86 \times 10^{-3} \text{ eV}$$

$$\sigma_{CC} = 3,47 \text{ \AA}$$

$$k_1 = 1071,54 \text{ cm}^{-1}$$

$$k_2 = 1071,15 \text{ cm}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{OC} &= \sqrt{\epsilon_{OO} \times \epsilon_{CC}} \\ &= \sqrt{3,70 \times 10^{-3} \times 2,86 \times 10^{-3}} \\ &= \sqrt{10,58 \times 10^{-9}} \\ &= 3,25 \times 10^{-3} \text{ eV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{OC} &= \frac{\sigma_{OO} + \sigma_{CC}}{2} \\ &= \frac{3,11 + 3,47}{2} \\ &= 3,29 \text{ \AA} \end{aligned}$$

$$\Delta E = h \cdot c \cdot \Delta k$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot (1071,54 \text{ cm}^{-1} - 1071,15 \text{ cm}^{-1})$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 0,39 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ m/s} \cdot 39 \text{ m}^{-1}$$

$$= 7,76 \times 10^{-24} \text{ J} \times 6,24 \times 10^{18}$$

$$= 4,84 \times 10^{-5} \text{ eV}$$

$$E = 4\epsilon_{OC} \left[\left(\frac{\sigma_{OC}}{r} \right)^{12} - \left(\frac{\sigma_{OC}}{r} \right)^6 \right]$$

$$-4,84 \times 10^{-5} = 4 \times 3,25 \times 10^{-3} \left[\left(\frac{3,29}{r} \right)^{12} - \left(\frac{3,29}{r} \right)^6 \right]$$

$$= \frac{20907,12}{r^{12}} - \frac{16,49}{r^6} + 4,84 \times 10^{-5} \times r^{12}$$

$$= 20907,12 - 16,49r^6 + 4,84 \times 10^{-5}r^{12}$$

$$\text{Hasil } r_1 = 8,35 \text{ \AA}$$

$$r_2 = 3,29 \text{ \AA}$$

$$r_{eq} = \sqrt[6]{2} \times \sigma_{OC}$$

$$= \sqrt[6]{2} \times 3,29$$

$$= 3,69 \text{ \AA}$$

$$\text{Hasil } r_{eq} = 3,69 \text{ \AA}$$

6. Foto Alat dan Bahan



Aluminium Oksida



Polyester Resin



Epoxy Resin



Film



Pesawat Sinar-X



Densitometer



Intensifying Screen



Phantom Forearm



KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
 Nomor: *146/P/2015*
 Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015

- Menimbang** : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing
- Mengingat** : 1. Undang-undang No 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
 2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
 3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES.
 4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES.
- Menimbang** : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 9 Januari 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 : SERLI PANGESTIKA SUWARNO
 NIM : 4211411060
 Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
 Topik : Phantom tubuh manusia

KEDUA :

Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

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





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. : 9260/UN.37.14/5/2015
 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 : SERLI PANGESTIKA SUWARNO
 NIM/Jurusan/Program Studi : 4211411060/Fisika
 /Fisika, S1
 Judul Skripsi : Rancang Bangun Cortical Bone Phantom dari Bahan Aluminium Oksida (Al₂O₃)

II. Waktu dan Tempat Ujian:

Hari/Tanggal : Selasa / 1 Desember 2015
 Jam : 09.00.00
 Tempat : D 7 L. 3
 Pakaian :

Tembusan

1. Ketua Jurusan Fisika
2. Calon yang diuji

Semarang, 24-11-2015
 Dekan,

 Prof. Dr. ZAENURI, S.E, M.Si,Akt
 NIP.196412231988031001

4211411060