

Thesis Fisika

**Pengaruh Penambahan Fe_3O_4 / Magnesium Terhadap
Kemampuan Menyerap Radiasi Gamma Geopolymer Tepung
Singkong/Black Carbon/(Fe_3O_4 /Mg)/Glyserin**

O L E H :

ZULKIFLI TRI DARMAWAN

H032182001



PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



**Pengaruh Penambahan Fe₃O₄ / Magnesium Terhadap
Kemampuan Menyerap Radiasi Gamma Geopolymer Tepung
Singkong/Black Carbon/(Fe₃O₄/Mg)/Glyserin**

THESIS

*Diusulkan sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Magister Sains pada
Program Studi Magister Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

**ZULKIFLI TRI DARMAWAN
H032182001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020



Optimization Software:
www.balesio.com

PAGE OF THESIS AUTHORIZATION

Compiled and submitted by

ZULKIFLI TRI DARMAWAN

Base Number : H032182001

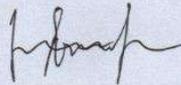
It has defended in front of the Thesis Examination Committee

On August 6th, 2020

And declared eligible

To approve

Advisory Commission



Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si

Chairman

Chair of Physics Masters Study Program



Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc



Prof. Dr. Bualkar, M.Eng.Sc

Member

Dean of Mathematics and Natural
Science Faculty, Hasanuddin University




Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zulkifli Tri Darmawan
NIM : H032182001
Program Studi : Magister Fisika

Dengan ini saya menyatakan bahwa thesis ini adalah karya asli saya dan sepengetahuan saya tidak mengandung materi yang telah diterbitkan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk suatu gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau institusi pendidikan lain dimanapun, kecuali bagiannya, yang telah dikutip sesuai aturan yang berlaku. Saya juga mengatakan bahwa tesis ini adalah pekerjaan saya sendiri dan sampai batas tertentu dibantu oleh pembimbing.

Makassar, 23 Juni 2020



ABSTRAK

Pada penelitian ini dibuat dua jenis apron yaitu apron dengan penambahan Fe_3O_4 dan Magnesium. Apron geopolimer dengan penambahan Fe_3O_4 telah disintesis dengan menambahkan Fe_3O_4 ke dalam larutan singkong dan karbon hitam (BC) dengan variasi 0 g, 5 g, 1 g, dan 1,5 g. Sampel dipanaskan pada suhu 70°C selama 24 jam. Efektivitas perisai radiasi diperoleh dengan menghitung densitas, koefisien atenuasi linier (μ), koefisien atenuasi massa (μ_s), half value layer (HVL), dan mean free path (MFP) dari sumber radiasi gamma IBT 103 Cs 137. komposit terbaik untuk sampel dengan tambahan 1 g Fe_3O_4 . Atenuasi $0,166\text{ cm}^{-1}$, kepadatan sampel $0,980\text{ g/cm}^{-1}$, nilai HVL $4,175\text{ cm}$, dan MFP $6,024\text{ cm}$. Sifat mekanik, sifat struktur, dan karakteristik ikatan geopolimer komposit singkong / karbon hitam / gliserin dibahas secara rinci. Studi kedua, sifat optik dan absorpsi pati singkong pelindung komposit / Fe_3O_4 / magnesium untuk variasi magnesium 0,05 gr, 0,075 gr dan 0,1 gr menggunakan spektroskopi Fourier transform infra-red (FTIR) dan IBT 103 Iradiator dengan Cs-137. isotop untuk energi 662 keV, masing-masing. Analisis kuantitatif spektra FTIR menggunakan relasi Kramers-Kronig (K-K) untuk menentukan indeks bias (n), koefisien pemadaman (k), fungsi dielektrik (ϵ), dan fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(-1/\epsilon)$). Pengaruh Mg terhadap getaran fonon TO jelas meningkatkan 1 cm^{-1} posisi bilangan gelombang dengan bertambahnya jumlah Mg pada komposit namun untuk konstanta LO pada bilangan gelombang 1126 cm^{-1} menunjukkan pengaruh yang kecil terhadap perpotongan optik kisi. Frekuensi plasma komposit pati singkong / Fe_3O_4 / Mg untuk berbagai jumlah Mg menunjukkan konstanta sebesar 1126 cm^{-1} menunjukkan struktur pembentukan ikatan kestabilan Fe_3O_4 sebagai pengisi pada pati singkong sebagai matriks. Koefisien atenuasi linier tertinggi untuk sampel dengan jumlah Mg tertinggi pada komposit (APMG 0.1) adalah $4,633\text{ cm}^{-1}$ untuk energi 662 KeV yang lebih baik dari hasil yang diperoleh sebelumnya. Berdasarkan uji kuat tarik, sampel terbaik adalah $73,19\text{ MPa}$ untuk jumlah Mg tertinggi pada komposit (APMG 0,1). Hasil ini menunjukkan potensi komposit yang tinggi dalam penelitian ini untuk aplikasi apron baru.

Kata kunci: Apron Geopolimer; Pati Singkong; Fe_3O_4 ; Magnesium, Kekuatan Tarik, Dosis yang Diserap



KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahrabbi'l'alamin. Segala puji bagi Allah Subhanahu wa ta'ala atas segala nikmat yang terlimpah kepada kita semua. Salam dan salawat semoga selalu tercurah kepada baginada Nabi besar Muhammad ﷺ, kepada keluarga beliau, para sahabatnya, dan orang-orang yang mengikuti beliau hingga akhir zaman. Alhamdulillah, atas nikmat Allah maka pada hari ini penulis bisa dimudahkan menyelesaikan ujian thesis berjudul "**Pengaruh Penambahan Fe₃O₄/Magnesium Terhadap Kemampuan Menyerap Radiasi Gamma Geopolymer Tepung Singkong / Black Carbon (Fe₃O₄/Mg) / Glycerin**" dengan tepat waktu.

Penulisan thesis ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, arahan dan masukan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan banyak terima kasih dan sebesar-besarnya kepada **Prof. Dahlang Tahir, M.Si**, sebagai pembimbing utama, dan **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.**, sebagai pembimbing pertama dan telah banyak menghabiskan waktunya untuk memberikan, bimbingan, dukungan, nasehat, dan arahan untuk penyelesaian penulisan thesis ini.

Ungkapan cinta dan syukur yang sebesar-besarnya juga ditujukan kepada orang tua penulis yaitu bapak **Muhtar** dan ibu **Hasniah Muis**, untuk semua cinta,

, bantuan, nasihat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis. Juga bapak dan ibu mertua penulis, "**Bapak Abdul Haris Daeng Sibali**" and



"**Ibu Niati**" yang telah mendukung penelitian kami. Spesial untuk istriku tercinta "**Hafizathil Hidayah**", terima kasih sayang telah mendukung saya. "**Winda Fadilah** (Saudara Kandung)", "**Muthiah** (Ipar Perempuan)", "**Muhammad Fadhil** (Ipar Laki-Laki)", terima kasih telah mendukung saya dan juga keponakan saya dan seluruh keluarga yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Terima kasih atas semua doa dan dukungannya. Melalui kesempatan ini pula, dengan penuh kerendahan hati penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya dan terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si** sebagai pembimbing utama dan pembimbing akademik. **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.** selaku pembimbing pertama yang keduanya menjadi orang tua penulis selama kuliah di Universitas Hasanuddin dengan sabar membimbing penulis serta memberikan ilmu dan motivasi yang berguna untuk menyelesaikan studi penulis. Tidak ada kesan yang luar biasa bagi penulis selain syukur atas rahmat Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk berinteraksi dengan mereka. Semoga mereka senantiasa dalam perlindungan dan rahmat Allah Subhanahu wa ta'ala.
2. **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, Ph.D, Dr. Sri Suryani, DEA and Dr. Sri Dewi Astuti Ilyas, S.Si, M.Sc.** sebagai tim penguji dalam melaksanakan seminar proposal, seminar hasil dan ujian akhir thesis.
3. **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku Ketua Jurusan Fisika, serta pengajar dan pegawai Jurusan Fisika dan Pascasarjana, Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu dan pelayanan administrasi akademik selama ini.
4. Terima kasih kepada teman-teman S2 Magister Fisika 2018, Magister Fisika 2017, dan rekan-rekan di Laboratorium Fisika Material dan Energi Jurusan Fisika FMIPA UNHAS, atas persahabatan yang telah diberikan kepada



penulis selama penelitian, banyak cerita yang akan menjadi catatan
peringat bagi penulis

Akhir kata semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang
membutuhkan dan khususnya bagi penulis. Amin Yaa Rabbal Alamin.

Makassar, 23 Juni 2020

Zulkifli Tri Darmawan



DAFTAR ISI

Sampul Halaman	i
Judul Halaman	ii
Lembar Pengesahan	iii
Surat Pernyataan	iv
Abstrak	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii
BAB I. Pendahuluan	
I.1 Latar Belakang Penelitian.....	1
I.2 Fokus Penelitian.....	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Waktu dan Tempat Penelitian.....	3
I.5 Diagram Alir Penelitian	4
BAB II. Hasil dan Diskusi	
II.1 Pengaruh Fe_3O_4 dalam Penyerapan Radiasi Gamma Apron Geopolimer Pati Singkong / Karbon Hitam / Gliserin	
Pendahuluan	5
Percobaan	6
Hasil dan Pembahasan.....	10



II.1.4 Kesimpulan.....	16
II.2 Sifat Optik dan Penyerapan Sinar Gamma dari Perisai Komposit Pati Singkong / Fe ₃ O ₄ / Magnesium	
II.2.1 Pendahuluan	17
II.2.2 Percobaan	20
II.2.3 Hasil dan Pembahasan.....	22
II.2.4 Kesimpulan.....	30
BAB III. Kesimpulan dan Saran	
III.1 Kesimpulan	32
III.2 Saran.....	33
Daftar Pustaka.....	35
Lampiran	46



Daftar Gambar

Gambar 1. Diagram alir penelitian Pengaruh Penambahan Fe_3O_4 / Pati Singkong / Karbon Hitam / Gliserin dan Pati Singkong / Fe_3O_4 / Magnesium pada Pembuatan Celemek Pelindung Radiasi Gamma.....	4
Gambar 2. Proses Sintesis Apron dengan Variasi Penambahan Fe_3O_4	7
Gambar 3. Ilustrasi Skema Alat Iradiator IBT 103 Cs 137 di Balai Pemeliharaan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar Indonesia.....	9
Gambar 4. Hasil Analisis FTIR Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4	11
Gambar 5. Nilai Koefisien Atenuasi Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4	13
Gambar 6. Nilai HVL dan MFP Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4	15
Gambar 7. Nilai Kuat Tarik Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4	16
Gambar 8. Proses Sintesis Apron dengan Variasi Penambahan Magnesium.....	20
Gambar 9. Hasil Analisis FTIR Sampel Variasi Penambahan Magnesium.....	22
Gambar 10. Indeks bias (n) dan koefisien kepunahan (k) (atas), fungsi dielektrik (tengah) nyata (ϵ_1) dan imajiner (ϵ_2), fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(-1/\epsilon)$) (bawah) dari singkong komposit pati / Fe_3O_4 / Mg untuk berbagai jumlah Mg dari kiri ke kanan (0, 0,05, 0,075, dan 0,1) dari analisis kuantitatif spektrum FTIR.....	24
11. Nilai Koefisien Atenuasi Sampel Variasi Penambahan Magnesium.....	28



Gambar 12. Nilai HVL dan MFP Sampel Variasi Penambahan Magnesium.....29

Gambar 13. Nilai Kuat Tarik Sampel Variasi Penambahan Magnesium



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data X Ray Fluorescence (XRF) Sampel dengan Variasi Penambahan Fe_3O_4	10
Tabel 2. Data Nilai Fourier Transform Infrared (FTIR) sampel dengan Variasi Penambahan Fe_3O_4	11
Tabel 3. Nilai Koefisien Atenuasi, Densitas, Tebal Komposit Fe_3O_4 dengan Pengujian Menggunakan Alat IBT Irradiator Cs-137 dengan Sumber Energi 662 KeV	12
Tabel 4. Transversal optical (TO) dan longitudinal optical (LO) mode vibrasi fonon, jarak Δ (LO-TO), halv value layer (HVL), dan kuat tarik dari komposit pati singkong/ Fe_3O_4 /Mg dari berbagai variasi penambahan Mg (0 untuk APMG0, 0,05 untuk APMG0,05, 0,075 untuk APMG0,075 dan 0,1 untuk APMG0,1).....	26
Tabel 5. Nilai Koefisien Atenuasi, Densitas, Tebal Komposit Magnesium dengan Pengujian Menggunakan Alat IBT Irradiator Cs-137 dengan Sumber Energi 662 KeV.....	27



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Penelitian

Paparan sinar-X dosis tinggi atau radiasi sinar gamma bagi manusia sebagai pekerja radiasi atau organ pasien sebagai sasaran yang dapat menyebabkan mutasi sel, karsinogenesis, dan kegagalan organ di sekitar objek sasaran. [1,2]. Untuk meminimalkan efek negatif terhadap lingkungan sekitar sel target pasien dan radiasi proteksi bagi pekerja di rumah sakit digunakan celemek [3-7]. Bahan timbal (Pb) banyak digunakan untuk apron seperti yang dilaporkan dalam referensi [2] tetapi berat, kaku, dan sangat mahal [8] yang dapat menyebabkan masalah pada tulang belakang [2].

Diperlukan inovasi dengan melakukan modifikasi melalui material untuk mendapatkan celemek yang fleksibel, ringan, dan ramah lingkungan. Pati singkong merupakan salah satu bahan alami yang biasanya digunakan untuk menghasilkan bioplastik yang mudah terdegradasi oleh mikroorganisme. Bahan ini dinilai lebih ramah lingkungan [9] karena terurai oleh mikroorganisme yang menghasilkan air (H_2O), karbondioksida (CO_2), dan metana (CH_4). Dengan kata lain, bahan ini dapat kembali ke alam setelah digunakan karena dapat didaur ulang kembali.

Pati adalah polimer alami yang diekstraksi dari tumbuhan dengan sumber yang melimpah dan berbiaya rendah. Singkong mengandung banyak pati yang

digunakan untuk produksi bioplastik. Potensi ini merupakan peluang besar memberi nilai tambah pada singkong sebagai bahan baku pembuatan plastik



ramah lingkungan dan Indonesia merupakan penghasil pati singkong terbesar ketiga di dunia [10]. Pati singkong juga cocok untuk celemek dengan bahan yang lebih fleksibel, ringan, murah, dan bebas limbah berbahaya.

Pada penelitian ini dibuat dua jenis celemek dengan kandungan berbeda yaitu Fe_3O_4 dan Magnesium. Pada penelitian pertama (isian Fe_3O_4), apron disintesis dalam bentuk komposit pati singkong / BC / Fe_3O_4 / gliserin dengan memvariasikan jumlah Fe_3O_4 untuk mendapatkan komposisi yang maksimal untuk karakteristik terbaik dalam mendukung sifat serapan [11,12]. Sedangkan studi kedua (isian magnesium), kami mensintesis apron komposit menggunakan magnesium dan oksida besi sebagai pengisi pati singkong. Sifat optik, sifat dielektrik, dan sifat absorpsi merupakan sifat paling dasar yang merupakan pengetahuan penting untuk memahami dan menemukan karakteristik terbaik untuk berbagai aplikasi. Selama ini sifat optik, sifat dielektrik, dan sifat serapan komposit pati singkong / Fe_3O_4 / Mg belum banyak diteliti.

Efektivitas material dalam proteksi radiasi berupa apron dapat dilihat dari densitas, koefisien atenuasi (μ), koefisien atenuasi massa (μ_s), Half Value Layer (HVL), dan Mean Free Path (MFP) [8,13 , 14,15] dan uji tarik material.

1.2 Fokus Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pembuatan celemek dengan variasi penambahan Fe_3O_4 ke dalam larutan Karbon Hitam / Pati Singkong / Gliserin sebanyak 0 gr, 5 gr, 1 gr, dan 1.5 gr serta variasi penambahan Magnesium ke dalam Pati Singkong /

sejumlah 0 gr. , 0, 05 gr, 0.075 gr dan 0.1 gr yang berfungsi sebagai proteksi radiasi sinar gamma. Efektivitas bahan dalam proteksi radiasi berupa



apron dapat dilihat dari densitas, koefisien atenuasi (μ), koefisien atenuasi massa (μ_s), Half Value Layer (HVL), uji kuat tarik, dan Mean Free Path (MFP). Penggunaan Fourier Transformed Infrared (FTIR) bertujuan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran sampel yang dianalisis tanpa merusak sampel.

I.3 Tujuan Penelitian

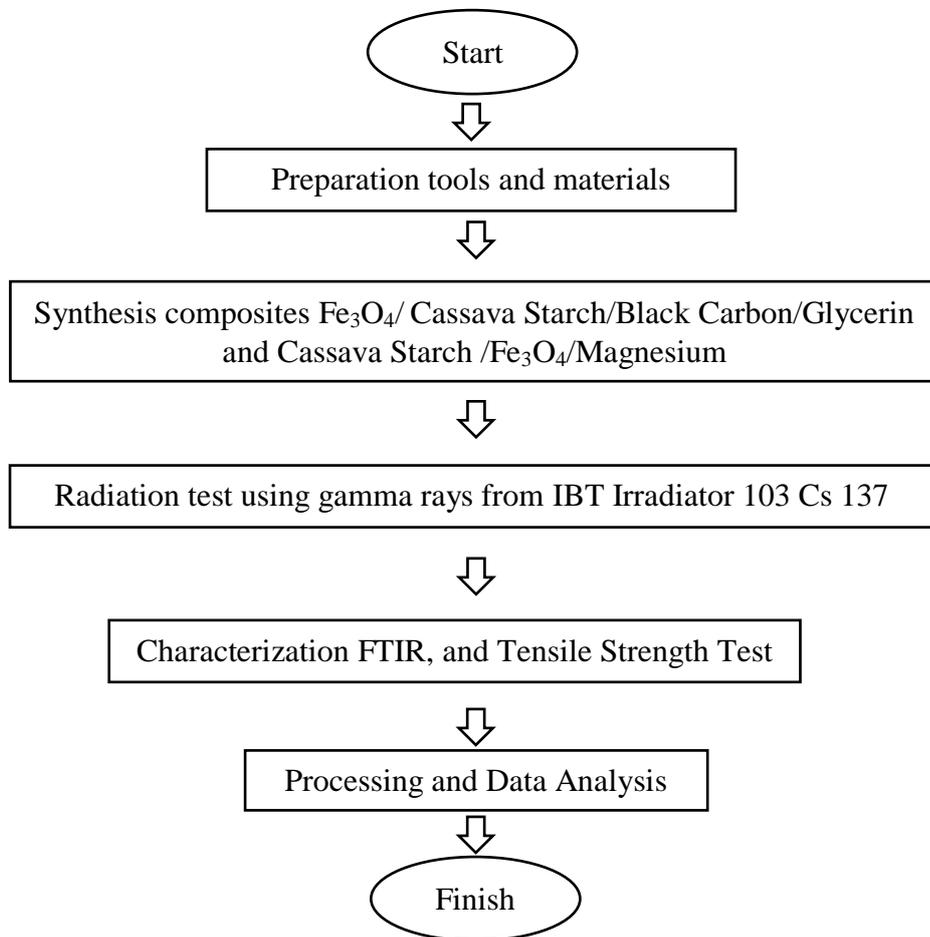
1. Menghitung nilai koefisien atenuasi, densitas, Half Value Layer (HVL), dan Mean Free Path (MFP) apron Fe_3O_4 dan apron Magnesium
2. Menganalisis ikatan kimia dan gugus fungsi apron Fe_3O_4 dan apron Magnesium
3. Menghitung nilai kuat tarik untuk setiap sampel apron Fe_3O_4 dan apron Magnesium
4. Menganalisis dan membandingkan potensi pelindung radiasi terbaik antara apron Fe_3O_4 dan apron Magnesium

I.4 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2018 - Agustus 2019 di Jurusan Fisika Material dan Energi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Laboratorium FTIR - Gedung Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, Pusat Industri Perkebunan Kota Makassar, dan Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Makassar / BPFK Kota Makassar



I.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian Pengaruh Penambahan Fe₃O₄ / Pati Singkong / Karbon Hitam / Gliserin dan Pati Singkong / Fe₃O₄ / Magnesium pada Pembuatan Celemek Pelindung Radiasi Gamma



BAB II

HASIL DAN PEMBAHASAN

II.1 Pengaruh Fe_3O_4 dalam Penyerapan Radiasi Gamma Apron Geopolimer Pati Singkong / Karbon Hitam / Gliserin

II.1.1 Pendahuluan

Apron anti radiasi merupakan salah satu alat pelindung yang dibutuhkan oleh pekerja radiasi [1,2]. Sebagian besar apron yang diproduksi oleh industri dari pelat timbal yang berat dan kaku membuat tidak nyaman bagi pekerja radiasi [16,17,18].

Pemanfaatan celemek untuk alat pelindung radiasi sangat dibutuhkan [20,21]. NCRP (The US National Council on Radiation Protection and Measurements) memberikan batasan dosis minimal per tahun adalah 50 mSv untuk ahli radiologi dan tenaga medis dan 3 mSv untuk tenaga medis lainnya seperti ahli bedah tulang belakang. Sedangkan orang yang tidak bekerja di bidang radiasi, batas tahunannya tidak melebihi 1 mSv [22].

Seung-Jae Hyun dkk pada tahun 2016 [22] melaporkan bahwa celemek timbal (Pb) dengan ketebalan 0,25 dan 0,5 mm masing-masing mampu melemahkan sekitar 90% dan 99% dari dosis radiasi. Bahan Pb merupakan bahan dasar pengisi apron untuk proteksi radiasi pengion. Pb merupakan logam yang berat dan beracun, dan akan memicu kerusakan lingkungan [19,4]. Ada banyak bahan alami yang dapat digunakan untuk perisai radiasi gamma seperti karbon dan

Besi dan oksida besi digunakan untuk meningkatkan redaman gelombang magnetik, sifat listrik dan magnet yang baik seperti hematit (Fe_3O_4)



[23,24]. Bahan yang murah, aman dan memiliki fungsi yang sama dengan Pb dalam kebutuhan proteksi radiasi. Oleh karena itu, kombinasi bahan Fe dan karbon harus terus dikaji untuk mendapatkan komposisi yang maksimal dengan karakteristik terbaik untuk memproteksi dosis radiasi yang dikirimkan ke tenaga medis [8].

Efektivitas material dalam proteksi radiasi berupa apron dapat dilihat dari densitas, koefisien atenuasi (μ), koefisien atenuasi massa (μ_s), Half Value Layer (HVL), dan Mean Free Path (MFP) [8,13,14,15]. Sejauh pengetahuan kami, tidak ada laporan tentang sifat-sifat ini untuk pati singkong komposit / BC / Fe_3O_4 / gliserin. Pada penelitian ini apron disintesis dalam bentuk komposit pati singkong / BC / Fe_3O_4 / gliserin dengan memvariasikan jumlah Fe_3O_4 untuk mendapatkan komposisi yang maksimal untuk karakteristik terbaik dalam mendukung sifat serapan [11,12].

II.1.2 Percobaan

II.1.2.1 Bahan

Gliserin ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) (Merck) (berat molekul 92,09, titik didih 290°C), aquades, Fe_3O_4 dari sigma aldrich, karbon hitam (BC) dari PT Cahaya Indo Abadi Indonesia, dan pati singkong dari Rose Brand Indonesia.

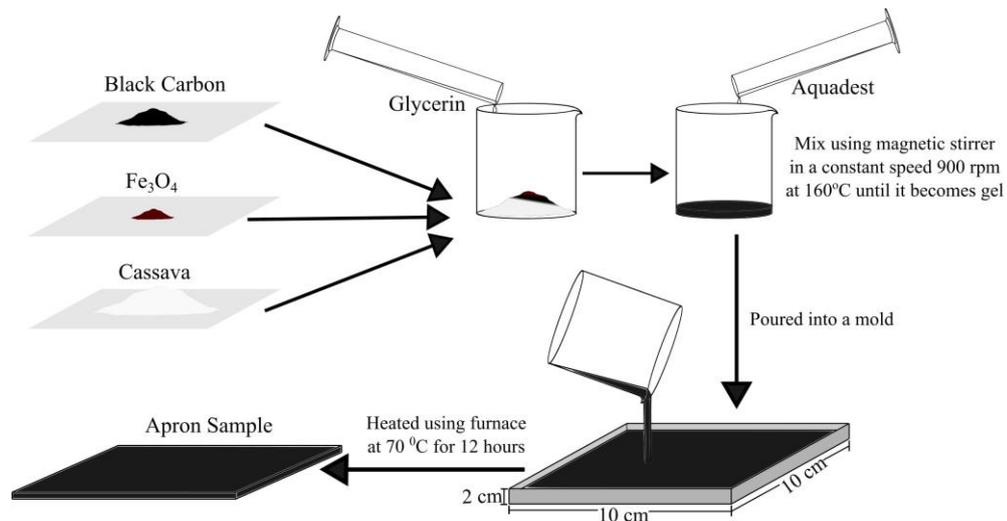
II.1.2.2 Proses Sintesis Apron

Fe_3O_4 dengan variasi penambahan 0.5 g, 1 g, and 1.5 g dicampur dengan karbon hitam menggunakan mesin pengaduk jenis Retsch MM400 (Tahun 2011, Nomor

101082213) selama 30 menit untuk mendapatkan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{BC}$.
u, $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{BC}$ dicampur dengan 10 g tepung singkong, 6 g gliserin, dan



94 mL of aquades lalu semua campuran diaduk dalam mesin stiring dengan kecepatan konstan 900 rpm pada suhu 160 °C hingga menjadi gel. Larutan yang telah berbentuk gel kemudian dituang ke dalam cetakan berukuran 10 cm x 10 cm x 2 cm kemudian dipanaskan dengan suhu 70 °C selama 12 jam. Proses sintesis apron geopolimer dapat dilihat dengan jelas pada gambar 2.



Gambar 2. Proses Sintesis Apron dengan Variasi Penambahan Fe_3O_4

II.1.2.3 Karakterisasi

XRF adalah alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi unsur atau senyawa suatu bahan [20] berupa padatan, bubuk, dan cair. Hasil analisis disajikan dalam bentuk data kualitatif dan kuantitatif. Metode sinar-X dilakukan dengan menggunakan model EDXRF ARL QUANT thermo. Spektrometer EDXRF dilengkapi dengan pendingin tabung sinar-X (anoda Rh, daya maksimum 50 W) perangkat pendingin, detektor kristal melayang, dan prosesor pulsa (32



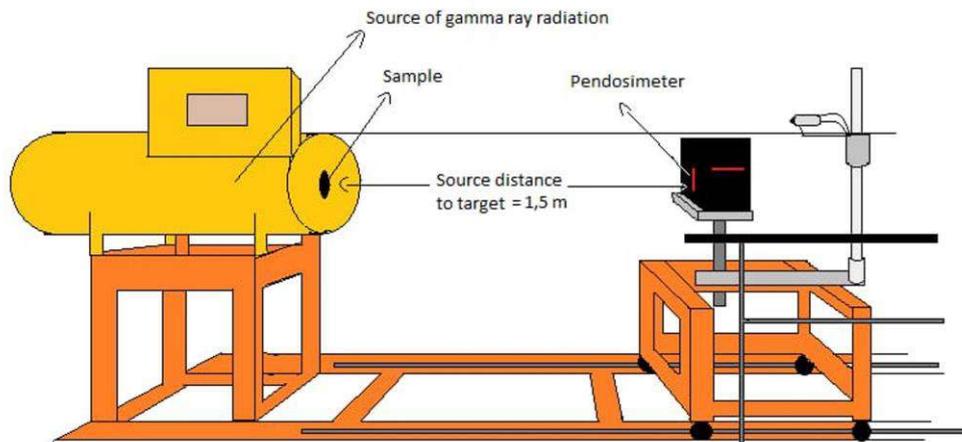
Spektroskopi Fourier Transforms Infrared (FTIR) (Shimadzu Corp) tipe IRPrestige-21 spektrometer dengan triglycine sulfat diolah dengan detektor L-alanine (DLATGS), sumber cahaya keramik terang, dan pemecah berkas KBr. FTIR mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan kimia berupa moda getaran ikatan kovalen pada bilangan gelombang pada rentang $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ transmitansinya tanpa merusak sampel [8,25,21].

Penyerapan sinar gamma diukur dengan dosis radiasi menggunakan sumber radiasi iradiator IBT 103 dari isotop Cs-137 di Badan Pemeliharaan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar, Indonesia. Kepadatan massa sampel dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis atau densitas (g/cm^3), m adalah massa sampel (g) dan v adalah volume material. Perhitungan koefisien atenuasi (μ), koefisien atenuasi massa (μ_s), nilai setengah lapisan (HVL), dan mean free path (MFP) berdasarkan pengujian potensi radiasi dengan menggunakan alat IBT Irradiator Cs 137.





Gambar 3. Ilustrasi Skema Alat Iradiator IBT 103 Cs 137 di Balai Pemeliharaan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar Indonesia

Sampel ditempatkan pada lubang iradiator IBT 103 Cs 137 kemudian sinar gamma akan diteruskan ke pendosimeter. Intensitas yang diukur akan direkam pada pendosimeter dalam satuan μSv (micro siever). Perhitungan koefisien atenuasi menggunakan persamaan (2) dengan I_0 adalah intensitas radiasi awal dan I adalah intensitas radiasi yang melalui sampel.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

Dimana μ adalah koefisien atenuasi sampel (cm^{-1}), dan x adalah ketebalan sampel (cm). Sedangkan koefisien atenuasi massa dihitung dengan persamaan berikut:

$$\mu_s = \frac{\mu}{\rho} \quad (3)$$

adalah massa koefisien atenuasi (cm^2/g), μ is koefisien atenuasi sampel dan ρ adalah massa jenis atau densitas (g/cm^3). HVL ditentukan dari



ketebalan perisai radiasi yang menghasilkan setengah dari intensitas awal. Nilai HVL dapat dihitung dengan:

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} \quad (4)$$

Dimana HVL adalah ketebalan sampel yang menghasilkan setengah dari intensitas awal (I). MFP adalah jarak rata-rata antara dua interaksi foton yang berdekatan (cm) yang dapat dihitung dengan:

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

Juga dibahas tentang kekuatan mekanik komposit berupa uji kuat tarik.

II.1.3 Hasil dan Pembahasan

Penambahan karbon hitam (CB) ke dalam larutan campuran antara pati singkong dengan Fe_3O_4 berfungsi untuk memberikan penguatan secara mekanik dan sifat listrik komposit [2]. Untuk sampel tanpa adanya penambahan Fe_3O_4 menunjukkan persentase Fe_2O_3 sebesar 83.86%. Untuk penambahan 0.5 g persentase kandungan Fe_2O_3 sebesar 92.47%, and persentasenya meningkat menjadi 96.36% untuk variasi penambahan 1.5 g Fe_3O_4 ,

Table 1. Data X Ray Fluorescence (XRF) Sampel dengan Variasi Penambahan

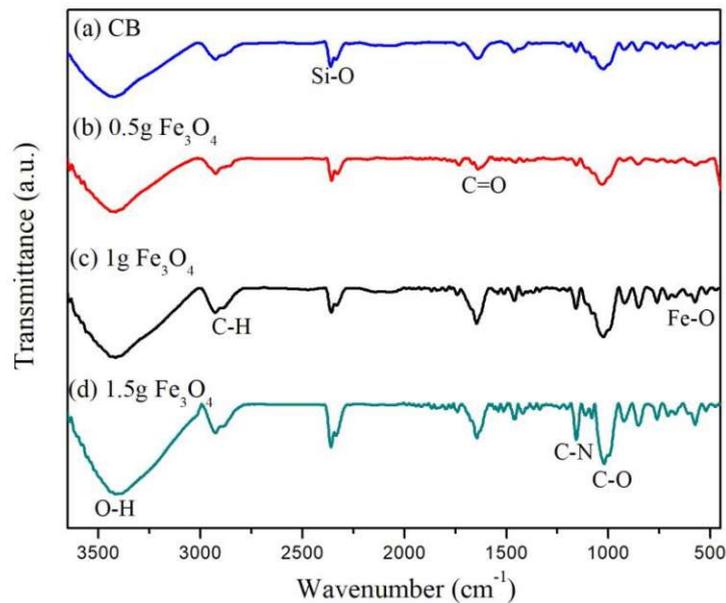
Fe_3O_4

Oxide Compounds	APFE0 (%)	APFE0.5 (%)	APFE1 (%)	APFE1.5 (%)
SiO_2	8.41	5.65	2.82	2.59
CaO	6.98	1.07	0.715	0.58
Fe_2O_3	83.86	92.47	95.84	96.36
MnO	0.75	0.81	0.62	0.47



Gambar 4 menunjukkan spektrum FTIR untuk menentukan gugus fungsi penambahan Fe_3O_4 . Gambar 4 (a) menunjukkan komposit tanpa

penambahan Fe_3O_4 sedangkan untuk gambar (b), (c), dan (d) setelah dilakukan penambahan ke dalam sampel. Formasi ikatan pada komposit adalah O-H, Si-O, C=O, C-N, C-O, dan Fe-O, bilangan gelombang yang sesuai ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Hasil Analisis FTIR Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4

Tabel 2. Data Nilai Fourier Transform Infrared (FTIR) sampel dengan Variasi Penambahan Fe_3O_4

Wavenumber (cm^{-1})				Bond
APFE0	APFE0.5	APFE1	APFE1.5	
3424	3431	3417	3405	O-H
2926	2912	2926	2926	C-H
2360	2353	2353	2353	Si-O
1645	1631	1645	1638	C=O
1160	1154	1140	1160	C-N
1024	1019	1025	1012	C-O
0	564	577	571	Fe-O

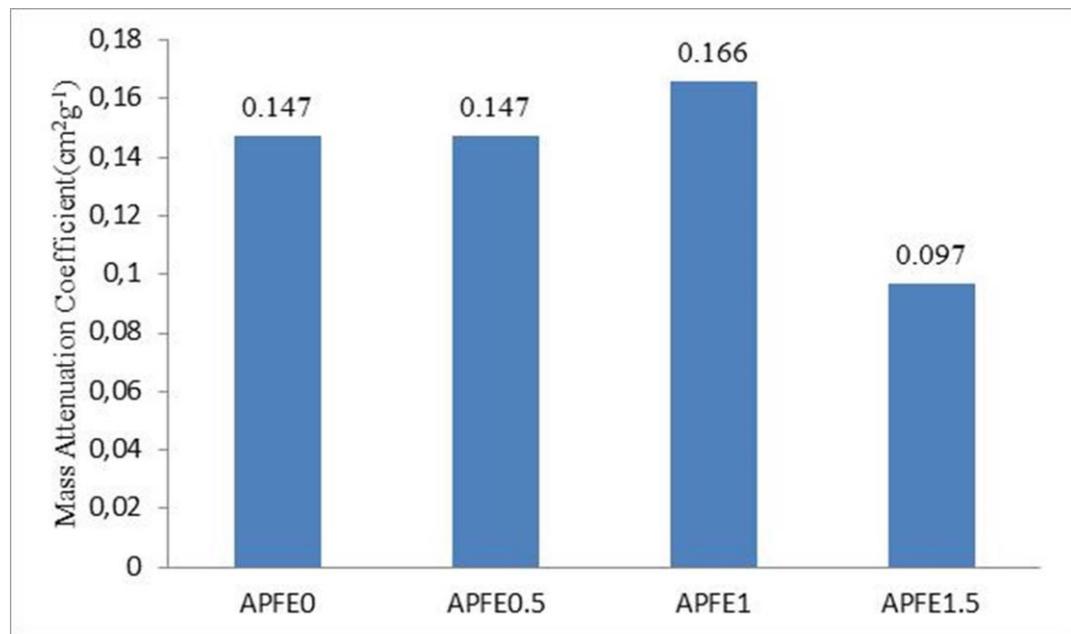


Pada bilangan gelombang 560 cm^{-1} diberikan Fe-O, pada 1020 cm^{-1} untuk C-O, dan pada bilangan gelombang 1060 cm^{-1} untuk ikatan C-N. Teramati regangan asimetris dan simetris C = O dari bilangan gelombang 1631 sampai 1645 cm^{-1} dan vibrasi ulur ikatan C-O pada bilangan gelombang $1019\text{-}1024\text{ cm}^{-1}$ [20,26]. Pada bilangan gelombang $2000\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$ ditetapkan untuk ikatan Si-O [8]. Daerah keempat, yaitu pada kisaran bilangan gelombang $3000\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ untuk serapan gugus aldehida O-H dan C-H [2,27,28]. Penambahan Fe_3O_4 menunjukkan bergesernya bilangan gelombang C-O dan C = O yang lebih rendah, mungkin karena lebar puncak berkurang tetapi intensitasnya meningkat. Daya serap kuat dan tajam pada bilangan gelombang 1160 cm^{-1} dari gugus C-N. Dari XRF terlihat komposisi besi pada apron komposit untuk radiasi sinar gamma menjadi mayoritas dan dari FTIR menunjukkan bahwa hampir semua ikatan primer akan berikatan dengan Fe, ex. untuk Si-O-Fe dan C-O-Fe.

Tabel 3. Nilai Koefisien Atenuasi, Densitas, Tebal Komposit dengan Pengujian Menggunakan Alat IBT Irradiator Cs-137 dengan Sumber Energi 662 KeV

Sample	Density (g/cm^3)	Thickness (cm)	Attenuation Coefficient (cm^{-1})
APFE0	0.846	0.114	0.147
APFE0.5	0.846	0.114	0.147
APFE1	0.980	0.115	0.166
APFE1.5	0.700	0.161	0.097





Gambar 5. Nilai Koefisien Atenuasi Sampel Variasi Penambahan Fe₃O₄

Tabel 3 menunjukkan kepadatan setiap sampel, koefisien redaman massa (sesuai dengan hasil ini juga ditunjukkan pada Gambar 5), dan ketebalan, dari tabel 3, menunjukkan dengan jelas kepadatan tertinggi adalah APFE1. Koefisien atenuasi tertinggi yang ditunjukkan oleh APFE1 adalah 0,166 cm⁻¹ untuk energi 662 KeV. Ref. [20] bismut yang dilaporkan berdasarkan pelindung radiasi menunjukkan koefisien atenuasi linier adalah 0,240 cm⁻¹. Perbedaan antara studi kami dan Ref. [20] sebesar 0.074 cm⁻¹ kemungkinan karena massa atom antara besi dan bismut berbeda, maka massa atom besi adalah 55.845 u sedangkan bismut adalah 208.9804 u [26,29]. Perisai radiasi yang baik memiliki kepadatan besar yang lebih efektif untuk menyerap radiasi gamma. Perhitungan massa jenis

dari persamaan 1. Hasil perhitungan massa jenis dapat dilihat pada tabel [30] melaporkan pelindung radiasi dari material PANi / Pb dengan



ketebalan 0,15 cm menunjukkan koefisien atenuasi $0,909 \text{ cm}^{-1}$ untuk energi 60 keV. Jika dibandingkan dengan penelitian kami, dengan ketebalan 0.115 cm diperoleh koefisien atenuasi sebesar 0.166 cm^{-1} dengan selisih 0.743 cm^{-1} tetapi energi radiasi jauh lebih besar yaitu sekitar 662 keV. Ada tiga mekanisme kehilangan energi utama dimana foton sinar-X kehilangan energi: Efek fotolistrik, hamburan Compton, dan produksi pasangan. Penyerapan apron ditentukan oleh persamaan:

$$DS = (1 - e^{-\mu x}) \times 100\% \quad (6)$$

dengan: DS = Persentase Penyerapan (%)

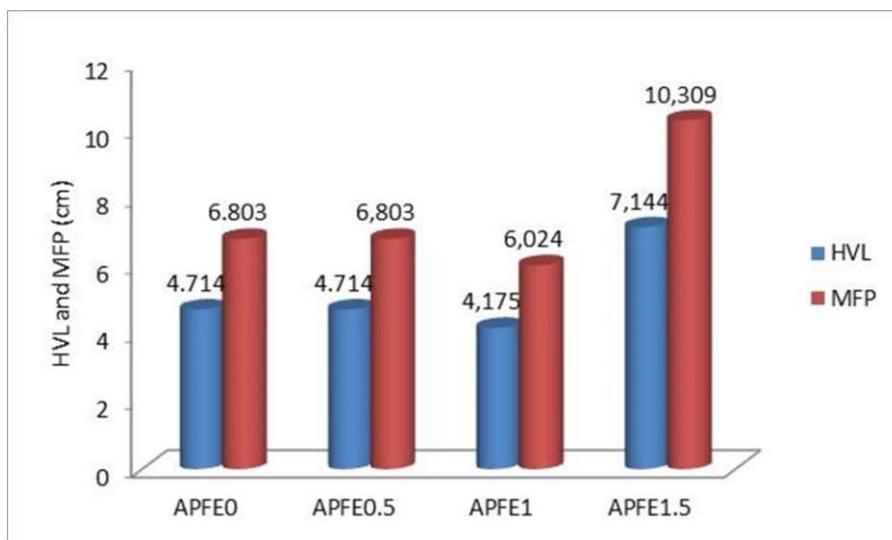
μ = Koefisien Atenuasi (cm^{-1})

x = Ketebalan Sampel (cm)

Peluang absorpsi fotolistrik sangat tergantung pada nomor atom Z sehingga jika sampel dengan nomor atom lebih besar maka peluang untuk digunakan radiasi dalam bentuk apron jauh lebih baik [22,30,31,32]. Berdasarkan IEC 61331-1: 2002 [33] mengenai standar apron kualitas terbaik dunia menunjukkan bahwa untuk ketebalan 5 cm apron mampu menyerap radiasi sebesar 0,9%. Untuk sampel APFE1, dapat menyerap radiasi 0,1738% dengan ketebalan 0,115 cm. Jika dibandingkan dengan standar internasional, ketebalan pada penelitian ini adalah 0.115 cm, harus mampu menyerap radiasi paling sedikit 0.021% namun ditemukan daya serap sebesar 0.1738% menunjukkan bahwa daya serap yang lebih baik pada penelitian ini.



Efektivitas penyerapan radiasi sinar gamma dapat dilihat dari koefisien atenuasi massa. Semakin tinggi koefisien atenuasi massa, semakin baik digunakan sebagai bahan penahan radiasi. Koefisien redaman massa ditunjukkan pada Gambar 5, nilai terendah ketika Fe_3O_4 adalah 1,5 g menunjukkan bahwa penambahan Fe_3O_4 yang berlebihan akan mengurangi massa jenis [8].



Gambar 6. Nilai HVL dan MFP Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4

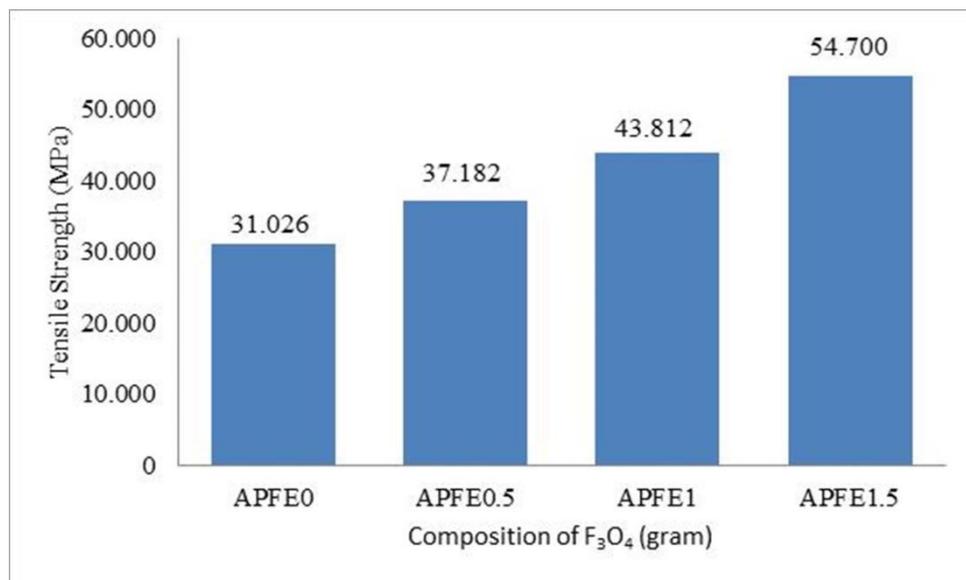
Data HVL dan MFP dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6. HVL adalah ketebalan material yang dibutuhkan untuk mereduksi intensitas sinar-X hingga setengahnya dari intensitas awal sedangkan MFP didefinisikan sebagai jarak rata-rata antara dua foton yang berdekatan berinteraksi (cm) [8].

Berdasarkan Gambar 6, HVL terbaik ditunjukkan oleh APFE1 karena memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan apron geopolimer lainnya.

Untuk mengurangi intensitas radiasi hingga setengah dari intensitas awal, apron pelindung dengan ketebalan 4.175 cm. MFP terbaik dalam penelitian



ini ditunjukkan oleh APFE1 dengan nilai 6.024 cm. Nilai HVL menggunakan persamaan 4 sedangkan nilai MFP ditentukan menggunakan persamaan 5. Gambar 7 menunjukkan sifat mekanik sampel dengan penambahan karbon dan variasi komposisi Fe_3O_4 .



Gambar 7. Nilai Kuat Tarik Sampel Variasi Penambahan Fe_3O_4

Kekuatan tarik meningkat dengan penambahan Fe_3O_4 ke dalam sampel. Kekuatan tarik terbaik ditunjukkan oleh APFE1.5 adalah 54.700 MPa. Nilai uji tarik ini jauh lebih baik dibandingkan dengan uji tarik yang dilakukan oleh Ambika (2017) [34] yang nilainya 25 MPa dengan bahan bismut.

II.1.4 Kesimpulan

Nilai efektifitas pelindung radiasi dapat dilihat dari beberapa indikasi seperti kepadatan sampel, koefisien atenuasi, HVL, dan MFP. Semakin besar sampel, semakin besar nilai serapannya. Sampel terbaik adalah yang nilai HVL dan MFP terkecil. Berdasarkan hasil perhitungan, sampel



terbaik adalah APFE1. Atenuasi $0,166 \text{ cm}^{-1}$, kepadatan sampel $0,980 \text{ g/cm}^3$, HVL 4,175 cm, dan MFP 6,024 cm.

Sifat mekanik, struktur, dan ikatan dikarakterisasi menggunakan uji kuat tarik dan karakterisasi X-Ray Fluorescence (X-RF). Berdasarkan uji kuat tarik, sampel terbaik adalah APFE1.5 pada kuat tarik 54.700 MPa. Koefisien atenuasi berkurang pada APFE1.5. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Fe_3O_4 yang berlebihan akan menurunkan densitas sehingga radiasi yang masuk tidak dapat diserap dengan baik.

II.2 Sifat Optik dan Penyerapan Sinar Gamma dari Perisai Komposit Pati

Singkong / Fe_3O_4 / Magnesium

II.2.1 Pendahuluan

Paparan sinar-X berdosisi tinggi atau radiasi sinar gamma untuk organ pasien sebagai sasaran objek dapat menyebabkan mutasi sel, karsinogenesis, dan kegagalan organ di sekitarnya objek [1,4].

Celemek digunakan untuk meminimalkan efek negatif pada sekitar target sel untuk pasien dan radiasi proteksi untuk ahli radiologi [3,4,5,7].

Logam berat banyak digunakan sebagai celemek; bahan timbal (Pb), bismut-antimon, dan timah [5,8,22,35] meskipun kaku dan berat [8] yang dapat menyebabkan masalah pada tulang belakang [5], namun yang paling penting adalah masalah lingkungan di pengolahan dan limbah berbahaya [9].

Untuk aplikasi apron, diperlukan inovasi tidak hanya modifikasi bahan

ga pemanfaatan sumber daya alam yang fleksibel, ringan, dan ramah an [27].



Pati adalah polimer alami diekstrak dari tumbuhan seperti singkong yang merupakan sumber melimpah di Indonesia sebagai yang ketiga penghasil pati singkong terbesar di dunia [10]. Singkong pati merupakan salah satu sumber daya alam yang biasa digunakan untuk bioplastik karena mudah terdegradasi oleh mikroorganisme dan terindikasi sebagai bahan yang sangat ramah lingkungan [9,27] dan dapat dengan mudah didaur ulang kembali. Pati singkong merupakan salah satu matriks pada apron komposit lebih fleksibel, ringan, murah, dan bebas limbah B3.

Perlindungan dari paduan antara magnesium dan logam atau oksida logam dapat meningkatkan kinerja penyerapan radiasi [36]. Magnesium memiliki kepadatan rendah, tinggi kekakuan dan kekuatan spesifik, redaman luar biasa, daur ulang, dan juga konduktivitas tinggi. Besi Logam (Fe) dan oksidanya mudah ditemukan dalam kehidupan sehari-hari dalam bentuk paduan, nanopartikel, dan material komposit yang menunjukkan kemampuan penyerapan gelombang mikro terbaik [20,21,26,29,37].

Dalam penelitian ini digunakan magnesium dan Fe_3O_4 sebagai bahan pengisi dengan pati singkong sebagai matriks untuk aplikasi apron yang fleksibel dengan daya serap sinar gamma yang sangat baik.

Sifat optik, sifat dielektrik, dan sifat penyerapan adalah sifat dasar yang merupakan pengetahuan penting untuk memahami dan menemukan karakteristik terbaik untuk aplikasi perisai radiasi [29,42].

Pati singkong komposit/ Fe_3O_4 /Mg untuk apron sinar gamma pada penelitian ini adalah dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi FTIR



(Fourier Transform Infra-Red) untuk menentukan gugus fungsi dalam komposit dan dengan menerapkan hubungan Kramers Kronig (KK) dalam spektrum FTIR, sifat optik (n dan k), sifat dielektrik (ϵ), dan frekuensi plasma dari fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(-1/\epsilon)$) ditentukan. Karakteristik serapan pati / Fe_3O_4 / Mg untuk apron sinar gamma adalah densitas, koefisien atenuasi linier (μ), nilai setengah lapisan (HVL), dan jalur bebas rata-rata (MFP) ditentukan dari pengukuran intensitas radiasi menggunakan alat IBT 103 Iradiator dengan Cs-137 isotop untuk energi 662 keV. Selain itu, kekuatan tarik komposit pati / Fe_3O_4 / Mg untuk berbagai jumlah Mg juga dibahas.

II.2.2 Percobaan

II.2.2.1 Bahan

Gliserin ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) (Merck) (berat molekul 92.09, titik didih 290°C), Fe_3O_4 diperoleh dari sigma aldrich, tepung singkong dari brand lokal Indonesia (Rose Brand Indonesia), dan Magnesium.

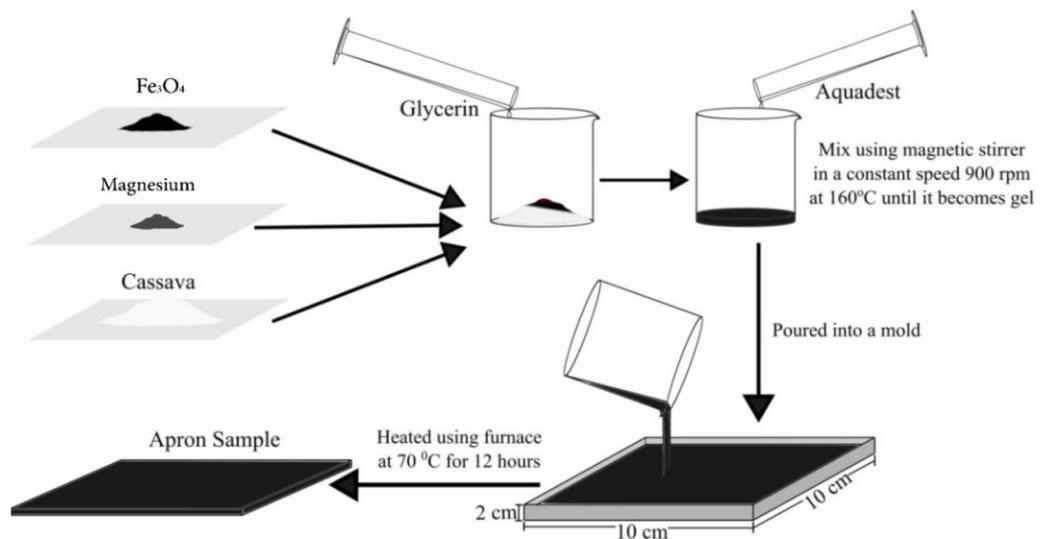
II.2.2.2 Proses Sintesis

Fe_3O_4 (1 gr) dicampur dengan berbagai jumlah magnesium (0,05 g, 0,075 g, dan 0,1 g) dengan menggunakan mesin pencampur jenis MM400 Retsch (tahun 2011 nomor seri: 121101082213) selama 30 menit untuk mendapatkan senyawa biner Fe_3O_4 / Mg. Setelah itu senyawa Fe_3O_4 / Mg dicampur dengan 10 g pati singkong, 6 g gliserin, dan 94 mL aquades dengan diaduk pada kecepatan konstan 900 rpm pada suhu 160°C hingga

rutan menjadi gel. Larutan tersebut kemudian dituang ke dalam cetakan (10 cm x 10 cm x 2 cm) kemudian dipanaskan dengan menggunakan



mesin furnace pada suhu 70° C selama 12 jam. Nama komposit tersebut adalah AMPG 0 untuk tanpa Mg, AMPG 0,05, AMPG 0,075, dan AMPG 0,1, masing-masing nilai tersebut menunjukkan jumlah Mg dalam komposit. Ilustrasi proses sintesis pati singkong apron komposit / Fe₃O₄ / Mg dapat dilihat secara jelas pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses Sintesis Apron dengan Variasi Penambahan Magnesium

II.2.2.3 Karakterisasi

Massa jenis pati singkong komposit / Fe₃O₄ / Mg ditentukan dari berikut ini persamaan:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis atau densitas (g/cm³), m adalah massa sampel (g)

adalah volume material. Perhitungan koefisien atenuasi (μ), koefisien massa (μ_s), nilai setengah lapisan (HVL), dan mean free path (MFP)



berdasarkan pengujian potensi radiasi dengan menggunakan alat IBT Irradiator Cs 137.

Sampel ditempatkan pada lubang iradiator IBT 103 Cs 137 kemudian sinar gamma akan diteruskan ke pendosimeter. Intensitas yang diukur akan direkam pada pendosimeter dalam satuan μSv (micro siever). Perhitungan koefisien atenuasi menggunakan persamaan (2) dengan I_0 adalah intensitas radiasi awal dan I adalah intensitas radiasi yang melalui sampel.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

Dimana μ adalah koefisien atenuasi sampel (cm^{-1}), dan x adalah ketebalan sampel (cm). HVL ditentukan dari ketebalan perisai radiasi yang menghasilkan setengah dari intensitas awal. Nilai HVL dapat dihitung dengan:

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} \quad (4)$$

Dimana HVL adalah ketebalan sampel yang menghasilkan setengah dari intensitas awal (I). MFP adalah jarak rata-rata antara dua interaksi foton yang berdekatan (cm) yang dapat dihitung dengan:

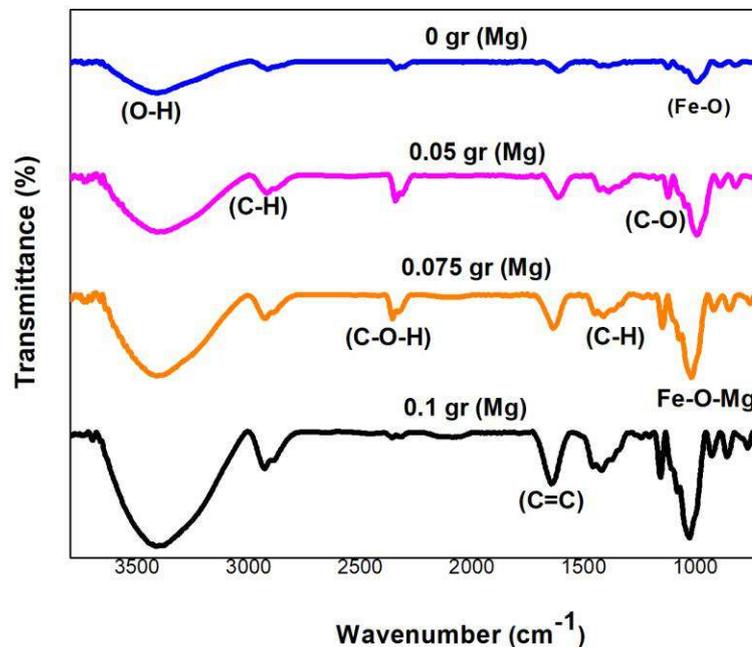
$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

Spektrum Fourier transform infrared (FTIR) (Shimadzu Corp) pada bilangan gelombang 700 sampai 1200 cm^{-1} digunakan untuk menentukan indeks bias (n), koefisien kepunahan (k), fungsi dielektrik (ϵ), dan fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(1/\epsilon)$) dengan menggunakan relasi Kramers Kronig (KK). Untuk sifat mekanik

melalui uji kuat tarik.



II.2.3 Hasil dan Pembahasan



Gambar 9. Hasil Analisis FTIR Sampel Variasi Penambahan Magnesium

Gambar 9 menunjukkan spektrum FTIR apron komposit pati singkong / Fe_3O_4 /Mg untuk berbagai variasi jumlah Mg. Intensitas puncak pada bilangan gelombang 1000 cm^{-1} dari ikatan anorganik getaran (Fe-O-Mg) meningkat dengan meningkatnya jumlah Mg pada apron komposit pati singkong/ Fe_3O_4 /Mg menunjukkan komposit homogen [29].

Cincin aromatik berupa ikatan C=C diamati pada bilangan gelombang 1600 cm^{-1} dan pada getaran regangan pita C-O pada bilangan gelombang 1300 cm^{-1} . Getaran ikatan C-O-H terlihat pada bilangan gelombang sekitar 2300 cm^{-1} .

Penyerapan pada bilangan gelombang 3460 cm^{-1} ditetapkan absorpsi dari gugus hidroksil (O-H) pada komposit. Pengaruh Mg terhadap sifat optik pati singkong / Fe_3O_4 /Mg dianalisis dari spektrum FTIR dalam kisaran bilangan



gelombang (ω) dari 700 cm^{-1} hingga 1200 cm^{-1} [38,39] dengan menerapkan relasi Kramers-Kronig (KK).

Analisis kuantitatif spektroskopi elektron dengan menggunakan relasi KK untuk menentukan sifat optik dan dielektrik telah dilaporkan dalam banyak referensi [26,40,41,61,42,43,44] dan dari spektrum spektroskopi infra merah [45,46,47,28].

Dalam studi ini, kami menggunakan spektrum FTIR dalam menentukan indeks bias (n) dan koefisien kepunahan (k) komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ dengan mengubah spektrum dari transmitansi menjadi reflektansi [47,28]:

$$A(\omega) = 2 - \log[T(\omega)\%] \quad (5)$$

$$R(\omega) = 100 - [T(\omega) + A(\omega)] \quad (6)$$

Spektrum reflektansi merupakan parameter masukan untuk menentukan indeks bias dan $n(\omega)$ dan koefisien kepunahan $k(\omega)$ [57, 58] sebagai berikut:

$$n(\omega) = \frac{1 - R(\omega)}{1 + R(\omega) - 2\sqrt{R(\omega)} \cos \varphi(\omega)} \quad (7)$$

$$k(\omega) = \frac{2\sqrt{R(\omega)} \sin \varphi(\omega)}{1 + R(\omega) - 2\sqrt{R(\omega)} \cos \varphi(\omega)} \quad (8)$$

dimana $\varphi(\omega)$ didefinisikan sebagai perubahan fase antara foton masuk dan keluar (refleksi) setelah masuk ke dalam komposit yang ditentukan oleh persamaan:

$$\varphi(\omega) = -\frac{\omega}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\ln R(w') - \ln R(w)}{\omega'^2 - \omega^2} \quad (9)$$

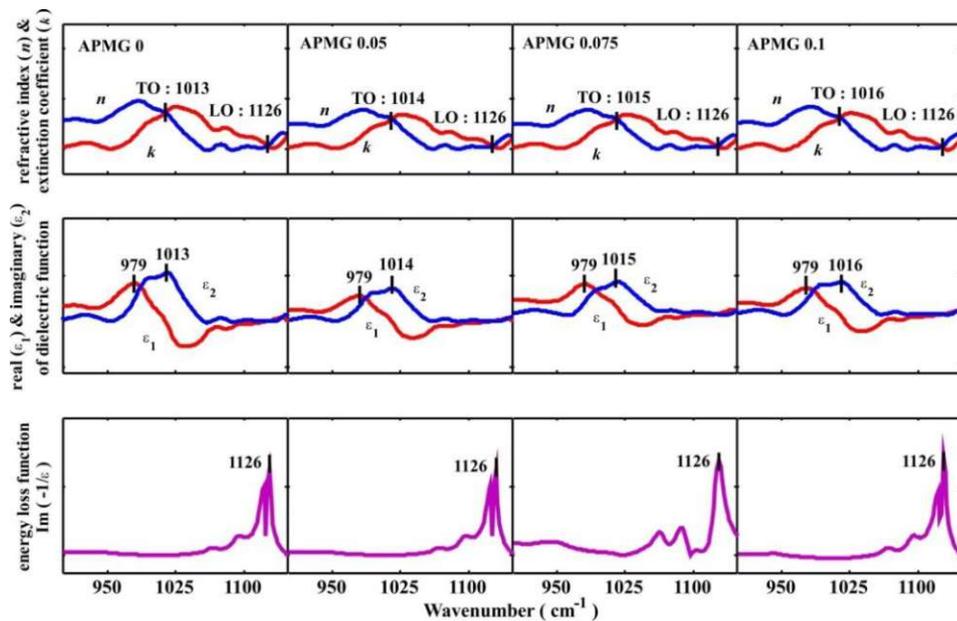
Untuk perhitungan perubahan fasa, relasi KK diterapkan pada persamaan (9)

erikut:

$$\varphi(\omega_j) = -\frac{4\omega_j}{\pi} \times \Delta\omega \times \sum_i \frac{\ln(\sqrt{R(\omega)})}{\omega_i^2 - \omega_j^2} \quad (10)$$



j adalah rangkaian bilangan gelombang, jika j adalah bilangan ganjil maka i adalah 2,4,6,8,..., $j-1, j+1$ dan apabila j adalah genap, i adalah 1,3,5,7,..., $j-1, j+1, \dots$
 $\Delta\omega = \omega_{i+1} - \omega_i$. Nilai n dan k sangat mudah ditentukan dengan mensubstitusikan persamaan (10) ke persamaan (7 dan 8) dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Indeks bias (n) dan koefisien kepunahan (k) (atas), fungsi dielektrik (tengah) nyata (ϵ_1) dan imajiner (ϵ_2), fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(-1/\epsilon)$) (bawah) dari singkong komposit pati/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ untuk berbagai jumlah Mg dari kiri ke kanan (0, 0,05, 0,075, dan 0,1) dari analisis kuantitatif spektrum FTIR.

Pengaruh Mg terhadap getaran fonon TO jelas bergeser sebesar 1 cm^{-1} ke posisi bilangan gelombang yang lebih tinggi dengan meningkatnya jumlah Mg

komposit tetapi untuk LO menunjukkan konstan pada bilangan gelombang 1126 cm^{-1} menunjukkan TO mempengaruhi persimpangan optik di kisi. Atom Mg dekat dengan atom Fe akan mengalami ikatan ionik yang dominan



dibandingkan dengan atom O disekitarnya. Hasil ini menyiratkan bahwa ikatan Mg dengan atom Fe memainkan peran yang lebih besar dalam menentukan getaran fonon optik. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggabungan Mg pada apron komposit pati singkong/Fe₃O₄/Mg berpengaruh terhadap perpotongan optik pada parameter kisi struktur oktahedral Fe₃O₄ yang mampu dapat memperpanjang parameter kisi [61].

Nilai n dan k digunakan sebagai parameter masukan dalam menentukan fungsi dielektrik sebagai berikut:

$$\varepsilon_1(\omega) = n^2(\omega) - k^2(\omega) \quad (11)$$

$$\varepsilon_2(\omega) = 2n(\omega)k(\omega) \quad (12)$$

dimana bagian nyata $\varepsilon_1(\omega)$ dan bagian imajiner $\varepsilon_2(\omega)$ dari fungsi dielektrik. Untuk fonon optik TO mode getaran harus dikonfirmasi oleh posisi puncak utama $\varepsilon_2(\omega)$ di baris tengah pada gambar 10 dan untuk LO dikonfirmasi oleh puncak utama dari fungsi kehilangan energi $\text{Im}(-1/\varepsilon(\omega)) = (\varepsilon_1(\omega))/(\varepsilon_1^2(\omega) + \varepsilon_2^2(\omega))$ dibaris bawah pada Gambar 10 [49,50].

Jarak antara dua nilai mode getar fonon optik Δ (LO-TO) (Dapat dilihat pada Tabel 4) menurun dengan meningkatnya jumlah Mg dapat dikaitkan dengan keberadaan atom kecil diantara jari-jari Mg dalam struktur oktahedral Fe₃O₄ yang menciptakan kerusakan kecil pada kisi [63]. Substitusi jari-jari ionik kecil lainnya meningkat dari Mg pada apron komposit pati singkong/Fe₃O₄/Mg dapat membuat lebih banyak kerusakan di dalam kisi yang dapat mengakibatkan TO bergeser ke

gelombang tertinggi dengan lebih banyak substitusi atom Mg.



Tabel 4. Transversal optical (TO) dan longitudinal optical (LO) mode vibrasi fonon, jarak Δ (LO-TO), halv value layer (HVL), dan kuat tarik dari komposit pati singkong/Fe₃O₄/Mg dari berbagai variasi penambahan Mg (0 untuk APMG0, 0,05 untuk APMG0,05, 0,075 untuk APMG0,075 dan 0,1 untuk APMG0,1)

	APMG0	APMG0,05	APMG0,075	APMG0.1
TO (cm ⁻¹)	1013	1024	1015	1016
LO (cm ⁻¹)	1126	1126	1126	1126
Δ (LO-TO) (cm ⁻¹)	113	112	111	110
HVL (cm)	0,158	0,157	0,158	0,150
Tensile Strength (MPa)	18,59	30,1	34,80	75,19

TO bergeser ke posisi bilangan gelombang yang lebih tinggi dan jarak antara dua fonon optik mode getar Δ (LO-TO) menurun dikaitkan dengan peningkatan konten Mg dalam komposit juga mungkin karena atom O berkurang karena efek Mg menggantikan beberapa atom O yang berikatan dengan Fe yang kemungkinan membentuk Mg_xFeO_{1-x}.

Meningkatnya jumlah kandungan Mg dalam komposit, membuat daerah yang lowong juga semakin meningkat dan besar. Atom O mungkin berkurang dan posisinya berada disekitar atom Fe daripada atom Mg karena perbedaan valensi elektron antara atom Mg dan Fe. Oksigen menurun karena asimetri ikatan lokal dan lemahnya ikatan diantara mereka [42,29]. Sifat ikatan atom Mg pada apron komposit singkong pati/Fe₃O₄/Mg dominan oleh ionik dan kovalen tetapi juga memiliki karakter logam kecil didalamnya [64].

posisi puncak utama ditunjukkan oleh $\epsilon_2(\omega)$ pada baris tengah pada β yang menunjukkan konsisten dengan mode fonon TO di baris atas pada



Gambar 3 yang disebabkan karena efek atom Mg dalam kecocokan kisi komposit pati singkong/Fe₃O₄/Mg membentuk struktur baru [50,51,52] tetapi untuk menunjukkan konstan serupa dengan mode fonon LO.

Fungsi kehilangan energi dianggap sebagai frekuensi plasma bahan seperti yang dilaporkan dalam Ref. [26,40,41,42,43,44]. Frekuensi plasma pati singkong komposit/Fe₃O₄/Mg untuk berbagai jumlah Mg menunjukkan konstan sebesar 1126 cm⁻¹ yang berarti struktur pembentukan ikatan kestabilan Fe₃O₄ sebagai pengisi pati singkong sebagai matriks [53,54,55,56].

Tabel 5. Nilai Koefisien Atenuasi, Densitas, Tebal Komposit Magnesium dengan Pengujian Menggunakan Alat IBT Irradiator Cs-137 dengan Sumber Energi 662 KeV

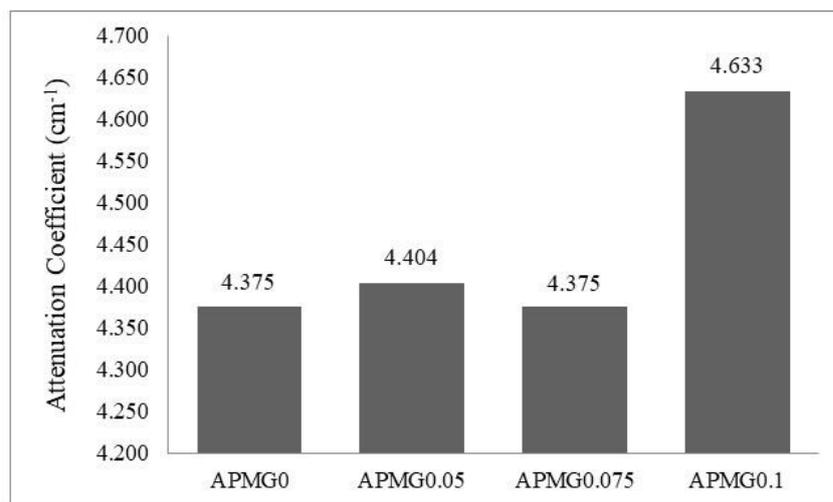
Sample	Density (g/cm ³)	Thickness (cm)	Attenuation Coefficient (cm ⁻¹)
APMG0	0,107	0.022	4,375
APMG0.05	0,108	0.022	4,404
APMG.075	0,095	0.022	4,375
APMG0.1	0,109	0.022	4,633

Tabel 5 menunjukkan massa jenis dan koefisien atenuasi untuk komposit pati singkong/Fe₃O₄/Mg dalam penelitian ini. Kepadatan tertinggi dan koefisien atenuasi terbaik ditunjukkan oleh sampel berkode APMG0,1 dikarenakan atom Mg telah mengisi beberapa kisi dan celah dari kekosongan atom dalam komposit [57,58]. Selain itu, efektivitas material dalam menyerap sinar gamma dapat diketahui dengan mengetahui nilai tertinggi dari koefisien atenuasi seperti yang

n dalam referensi [34,30,59].



Pada penelitian ini koefisien atenuasi tertinggi adalah $4,633 \text{ cm}^{-1}$ untuk sampel dengan jumlah Mg tertinggi pada komposit (APMG 0.1) untuk energi 662 KeV dibandingkan dengan bahan bismut sebagai pengisi ($0,240 \text{ cm}^{-1}$ [34]). Kami telah membandingkan nilai koefisien atenuasi dalam penelitian ini dengan pelindung dari berbagai jenis bahan: PANi / Pb hanya 1.892 cm^{-1} pada energi 60 keV untuk ketebalan 0.05 cm [30] dan kapas kain dilapisi dengan karet silikon yang mengandung bubuk barium sulfat menunjukkan koefisien atenuasi 2.610 cm^{-1} untuk energi 150 kV [59].



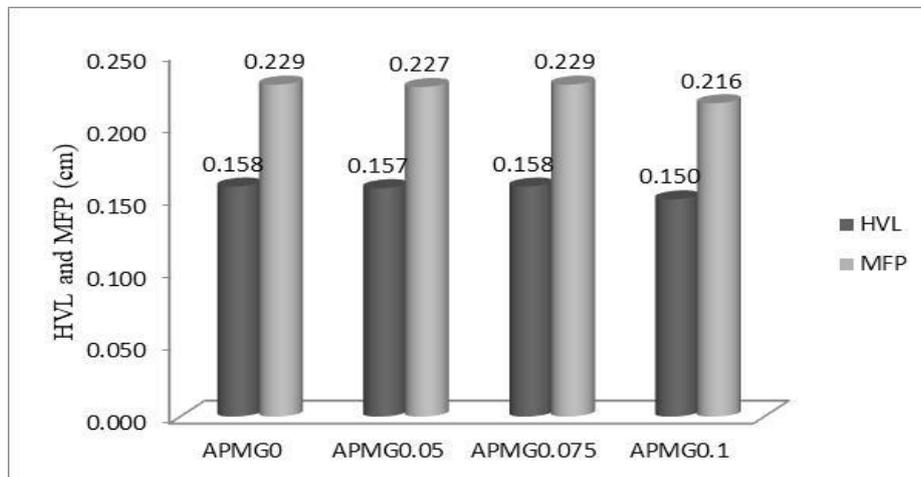
Gambar 11. Nilai Koefisien Atenuasi Sampel Variasi Penambahan Magnesium

Hasil dalam penelitian ini lebih tinggi dari pada referensi yang dilaporkan sebelumnya [34,30,59] menunjukkan bahwa komposit baru dalam studi ini berpotensi tinggi untuk aplikasi apron seperti yang dapat dilihat pada gambar 11.

ini konsisten dengan analisis kuantitatif sifat optik ex; untuk LO dan nilai



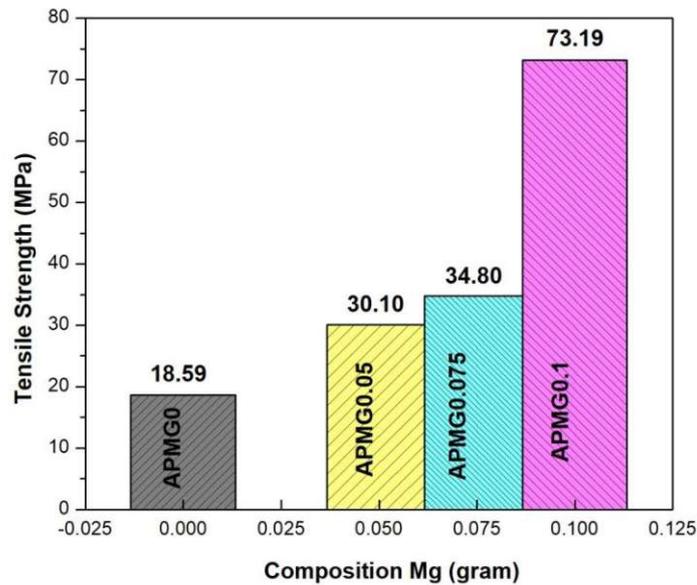
frekuensi plasma (ELF) yang konstan pada 1126 cm^{-1} menunjukkan struktur ikatan yang stabil telah terbentuk pada komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$.



Gambar 12. Nilai HVL dan MFP Sampel Variasi Penambahan Magnesium

Data HVL dan MFP pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 12. HVL adalah lapisan atau tebal keping yang membuat intensitas menjadi setengah dari intensitas semula, sedangkan MFP didefinisikan sebagai jarak rata-rata tumbukan foton (cm) dengan partikel muatan selama bergerak di dalam komposit [8]. HVL dan MFP terbaik ditunjukkan oleh APMG 0,1 seperti yang kami harapkan karena nilai terendah dibandingkan dengan jumlah Mg yang rendah di komposit dan juga koefisien atenuasi yang lebih tinggi.





Gambar 13. Nilai Kuat Tarik Sampel Variasi Penambahan Magnesium

Gambar 13 menunjukkan sifat mekanik komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ untuk berbagai jumlah penambahan magnesium. Kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya jumlah magnesium dalam komposit dari 18,59 Mpa untuk tanpa magnesium menjadi 73,19 MPa untuk 0,1 gr magnesium dalam komposit. Kekuatan tarik untuk material bismut adalah 25 MPa [39] dan untuk material PbWO_4 / EPDM adalah 9,95 MPa [60] yang lebih rendah dari komposit dalam studi ini, menunjukkan potensi tinggi untuk aplikasi apron sinar Gamma.

II.2.4 Conclusion

Analisis kuantitatif spektra FTIR dengan menggunakan Kramers-Kronig (K-K) hubungan digunakan untuk menentukan indeks bias (n), koefisien kepunahan (k), bagian nyata (ϵ_1) dan bagian imajiner (ϵ_2) dari fungsi dielektrik, fungsi kehilangan energi ($\text{Im}(-1/\epsilon_1(\omega))$). Getaran fonon optik transversal (TO) ditentukan dari titik silang antara n dan k yang dikonfirmasi oleh puncak utama dari bagian imajiner

fungsi dielektrik dan untuk longitudinal (LO) dikonfirmasi oleh fungsi energi $\text{Im}(-1/\epsilon_1(\omega))$. Fungsi kehilangan energi dianggap sebagai plasma untuk komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ menunjukkan konstan



pada 1126 cm^{-1} untuk semua komposit dalam penelitian ini menunjukkan pembentukan ikatan stabilitas antara $\text{Mg}_x\text{FeO}_{1-x}$ sebagai pengisi dengan pati singkong sebagai matriks. Koefisien atenuasi tertinggi adalah $4,633 \text{ cm}^{-1}$ untuk jumlah Mg tertinggi pada komposit (APMG 0.1) yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang dilaporkan sebelumnya. Karakteristik terbaik untuk apron komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ untuk jumlah Mg tertinggi: MFP 0.216 cm, massa jenis $0,109 \text{ g/cm}^3$, HVL adalah 0.1150 cm, dan kekuatan tarik adalah 73.19 MPa. Hal ini memberikan informasi baru bahwa komposit pati singkong/ $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Mg}$ menunjukkan potensi tinggi untuk aplikasi apron sinar Gamma.

