

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI Fe-Cu DALAM PENINGKATAN
SIFAT PENYERAPAN SINAR-X SEBAGAI APRON GEOPOLIMER
BERBASIS SELULOSA/KARBON HITAM (BC)/PVA**

Disusun dan diajukan oleh

FARADIBA TSANI ARIF

H021 19 1019



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI Fe-Cu DALAM PENINGKATAN
SIFAT PENYERAPAN SINAR-X SEBAGAI APRON GEOPOLIMER
BERBASIS SELULOSA/KARBON HITAM (BC)/PVA**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

FARADIBA TSANI ARIF

H021 19 1019

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI Fe-Cu DALAM PENINGKATAN SIFAT PENYERAPAN SINAR-X SEBAGAI APRON GEOPOLIMER BERBASIS SELULOSA/KARBON HITAM (BC)/PVA

Disusun dan diajukan oleh:

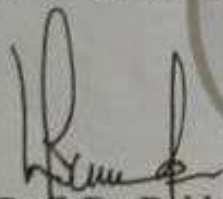
FARADIBA TSANIARIF

H021 19 1019

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 03 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

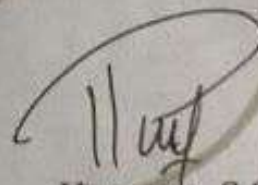
Menyetujui

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.
NIP. 19750907 200003 1 006

Pembimbing Pendamping,



Heryanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19911129 202005 3 001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T.
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faradiba Tsani Arif
NIM : H021191019
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENGARUH PENAMBAHAN VARIASI Fe-Cu DALAM PENINGKATAN SIFAT PENYERAPAN SINAR-X SEBAGAI APRON GEOPOLIMER BERBASIS SELULOSA/KARBON HITAM (BC)/PVA

merupakan skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau seluruh skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 03 Februari 2023

Yang Menyatakan



Faradiba Tsani Arif

ABSTRAK

Apron Geopolimer komposit Selulosa/Karbon Hitam(BC)/Fe-Cu/polyvinyl alcohol (PVA) telah berhasil disintesis dengan variasi Fe-Cu (Cel/Bc I, Cel/Bc II, dan Cel/Bc III) sebagai pelindung radiasi sinar-X dengan menggunakan metode sederhana yang dikarakterisasi oleh Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), dan X-ray mobile. Analisis FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi. Analisis spektra XRD menunjukkan bahwa ukuran kristal mengecil seiring dengan penurunan konsentrasi Fe pada komposit apron dan karakteristik perisai radiasi terbaik ditunjukkan pada sampel Cel/Bc III dengan ukuran kristal yang kecil 12,72 nm. Analisis kuantitatif X-ray mobile menunjukkan bahwa sifat penyerapan Cel/Bc III dengan koefisien atenuasi $0,441 \text{ cm}^{-1}$ lebih tinggi dan lebih efektif dengan nilai *half value layer* 1,57 cm dan *mean free path* 2,26 cm, yang ditunjukkan sebagai komposit apron sinar-X yang baru berbasis selulosa di masa depan.

Kata Kunci: Apron Geopolimer Selulosa; Komposit Selulosa/karbon hitam/Fe Cu; HVL, MFP, Koefisien atenuasi.

ABSTRACT

Composite geopolymer apron Cellulose/Black Carbon (BC)/Fe-Cu/polyvinyl alcohol (PVA) has been successfully synthesized with variations in Fe-Cu (Cel/Bc I, Cel/Bc II, and Cel/Bc III) as shielding X-ray radiation by employing a simple approach characterized by Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and X-ray mobile. FTIR analysis is used to determine functional groups. The analysis of XRD spectra demonstrated that the crystallite size decreases as the Fe concentration decreases in the composite's apron and the best radiation shielding characteristics are shown in the Cel/Bc III sample with a small crystallite size of 12.72 nm. The quantitative analysis of X-ray mobile showed that the absorption properties of Cel/Bc III by the attenuation coefficient 0.441 cm^{-1} is higher and more effective with a half value layer of 1.57 cm and mean free path of 2.26 cm, which is indicated as a new cellulose-based composite apron X-ray in future.

Keywords: *Geopolymer cellulose-apron; Composite cellulose/black carbon/Fe-Cu; HVL, MFP. Attenuation coefficient.*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pengaruh Penambahan Variasi Fe-Cu dalam Peningkatan Sifat Penyerapan Sinar-X sebagai Apron Geopolimer Berbasis Selulosa/Karbon Hitam (BC)/PVA”** yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Fisika Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Lantunan sholawat dikirimkan kepada Nabi Muhammad Shalallahu Alaihi Wassalaam, yang membawa umatnya dari alam kegelapan menuju alam yang terang benderang seperti yang dirasakan saat ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari adanya hambatan dan jauh dari kata sempurna. Hal ini terjadi karena pengetahuan dan kemampuan dari penulis yang penuh dengan keterbatasan. Oleh karena itu, skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, dan nasehat dari berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ucapan terima kasih yang tiada tara untuk kedua orang tua penulis, Bapak **Arif Rahman** dan Ibu **Hj. Asriwana** yang telah menjadi orang tua terhebat sejagad raya, yang selalu menuruti permintaan penulis, memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, kasih sayang, didikan, kepercayaan, kesabaran yang luar biasa dalam setiap langkah penulis serta doa yang tak akan bisa penulis balas satu per satu. Tiada kata yang mampu penulis ucapkan untuk mengungkapkan terima kasih yang sebesar-besarnya selain ucapan syukur karena senantiasa memberikan kasih sayang sepanjang masa sehingga penulis bisa sampai pada tahap ini.
2. Ucapan terima kasih kepada kakak penulis, **dr. Eka Febiola S.Ked** dan kakak ipar **A. Muh Rifaldi Qadar Usman S.Or** serta keponakan tersayang **Andi Muhammad Rayyan** yang selalu menghibur dan membangkitkan semangat penulis. Teima kasih juga kepada saudari **Firadilla Tsani Arif** yang senantiasa

memberikan dukungan kepada penulis, membangkitkan semangat dan perhatian yang terus menerus mengalir.

3. Terima kasih kepada Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku Pembimbing Utama dan Bapak **Heryanto, M.Si.** selaku dosen Pembimbing Pertama yang dengan sabar membimbing dan mengarahkan penulis. Terima kasih atas segala ilmu, motivasi, nasehat, dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
4. Kepada Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc.** dan Bapak **Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc.** selaku penguji yang selalu meluangkan waktu kepada penulis dan memberikan ilmu, arahan, kritik serta saran yang membangun dalam menyelesaikan setiap langkah demi langkah, mulai dari seminar proposal, seminar hasil dan ujian sidang skripsi.
5. Terima kasih juga kepada Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku ketua Departemen dan **Seluruh Dosen FMIPA UNHAS**, khususnya kepada seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika** yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang tak ternilai kepada penulis selama kurang lebih 7 semester.
6. Bapak/Ibu Staf Pegawai FMIPA UNHAS, terutama **Staf Departemen Fisika; Pak Syukur, Ibu Evi dan Ibu Rana** yang selalu membantu penulis dalam proses pengurusan administrasi dan senantiasa memberikan pelayanan terbaik kepada penulis dari awal perkuliahan sampai pada penyusunan berkas akhir studi.
7. Terima kasih kepada **Ibu Dwi** selaku pembimbing selama melakukan penelitian di BPFK Makassar atas ilmu dan bantuan yang diberikan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Kepada **Kakak-Kakak Keluarga Laboratorium Material dan Energi: (Inayatul Mutmainnah S.Si, M.Si., Nurul Mutmainnah Amal S.Si, M.Si., Nurhanisa S.Si, M.Si., Fatmawati Sudarman S.Si, M.Si., Roni Rahmat S.Si., Andi Tenri Tessiola S.Si., Ardiansyah S.Si., Masyarah. A. Mallarangi S.Si., Syarifuddin S.Si., dan Muh. Azlan)** penulis ucapkan terima kasih yang tak terhingga atas ilmu dan bantuan yang diberikan dalam penyusunan skripsi ini.

9. Kepada partner preparasi sampel, **Rifqah Nurul Ihsani S.Si** dan **Nurkhaerati Amir, S.Si** terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis.
10. Terima kasih kepada bestie seperjuangan **MaLup; (Rifqah Nurul Ihsani S.Si, Andi Sitti Rahmah, Nuraeni dan Nabila AR. Lamaniu)** yang selalu menghibur dikala penulis sedang galau dan sudah jadi tempat penulis berkeluh kesah. Terima kasih selalu sabar menghadapi penulis, selalu mendengarkan cerita penulis, menjadi tempat bertukar pikiran, penyemangat dan tentunya sering penulis repotkan selama perkuliahan dan penelitian. Terima kasih sudah setia menemani hingga akhir dengan segala canda, tawa dan haru.
11. Terima kasih kepada sobat **OBC; (Rifqah Nurul Ihsani S.Si dan Hajrul Farawansya)** yang selalu menghibur, membantu dan memotivasi dikala penulis sedang jenuh. Terima kasih sudah mau selalu ada disamping penulis baik itu suka maupun duka.
12. Terima kasih penulis ucapkan untuk teman seperjuangan **Lab Material dan Energi 2019; (Enjelin, Abdul Razak, Roslela, Nur Alya, Maria Antoinet Rifqah Nurul Ihsani S.Si., Stania Marsela, Yoriska Patrisia Ambalayuk, Yusri, Gunawan, Nurkhaerati Amir, S.Si., Ririn Annur, Hajrul Farawansya, Muh. Ghalib Palagai, Nurafikasari Siregar, Muh. Agung Izzulhaq Bahri, Rati B dan Andi Sitti Rahmah)** yang selalu memberikan hiburan dan dukungan terbaiknya kepada penulis.
13. Kepada teman seperjuangan mahasiswa **Fisika 2019**, Terima kasih atas semangat dan dukungan yang diberikan kepada penulis dan semua kenangan terindah selama masa kuliah.
14. Terima kasih kepada teman seperjuangan, keluarga **Posko 4 KKN Gel.108 Bone Desa Rappa; (Dewi Purnamasakty, Fatmawati, Fatkhatun Naimah, Farikha Aulia, Samsinar, Gregorius Wahyu Gusti Tanditasik, Fitrah Nur Akbar, Gilang Aprian dan Faais Mufaasir Ramadhan)** atas segala bantuan dukungan yang diberikan kepada penulis, menghibur dengan segala candaan dan leluconnya, mendorong dengan segala bentuk motivasinya, dan selalu kebersamai penulis dikala jenuh.

15. Penulis ucapkan terima kasih juga kepada Keluarga **HIMAFI 2019**, yang selalu memahami kondisi penulis dalam proses menyelesaikan penelitian. Terima kasih telah memberikan semangat yang membara bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
16. Semua pihak yang tidak disebutkan semuanya, yang telah dengan tulus ikhlas memberikan doa dan motivasi sehingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, karena itu segala kritik dan saran yang membangun akan menyempurnakan penulisan skripsi serta bermanfaat bagi penulis dan para pembaca.

Makassar, 03 Februari 2023



Faradiba Tsani Arif

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Selulosa	4
II.2 Fe-Cu	4
II.3 Sifat Perisai Radiasi	5
II.4 Sifat Struktur Material	5
II.5 Perkembangan Bahan Apron	6
II.6 Komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA	6
BAB III. METODE PENELITIAN	8
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
III.2 Alat dan Bahan Penelitian	8
III.3 Prosedur Penelitian	9
III.4 Bagan Alir Penelitian	11
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	12
IV.1 FTIR	12
IV.2 XRD	13
IV.3 SEM	15

IV.4 X-Ray Mobile	16
BAB V. PENUTUP	21
V.1 Kesimpulan.....	21
V.2 Saran.....	21
DAFTAR PUSTAKA	22
LAMPIRAN.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Kimia Selulosa	4
Gambar III.1 Ilustrasi Proses Sintesis Komposit Apron dengan Variasi Jumlah Fe-Cu.....	9
Gambar III.2 Bagan Alir Penelitian	11
Gambar IV.1 Spektrum FTIR dari Komposit Apron	12
Gambar IV.2 Spektrum XRD komposit apron dengan variasi Fe-Cu (Kiri) dan pembesaran puncak difraksi utama (kanan).....	14
Gambar IV.3 SEM komposit apron (a) Cel/Bc I, (b) Cel/Bc II, (c) Cel/Bc III	16
Gambar IV.4 Perbandingan antara data eksperimen dan teoritis (XCOM) untuk koefisien atenuasi linier (μ) dan koefisien atenuasi massa (μ_m) dari apron komposit	17
Gambar IV.5 HVL dan MFP dari komposit apron	19

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Gugus fungsi komposit apron	13
Tabel 4.2 Ukuran kristal (D_s) dari hasil XRD, Ukuran Partikel dari hasil SEM, <i>dislocation density</i> (δ), dan HVL dari Gambar IV.5 untuk komposit apron.....	15
Tabel 4.3 Perbandingan antara data eksperimen dan teoritis untuk koefisien atenuasi (μ) dan koefisien atenuasi massa (μ_m) dari komposit apron.	18
Tabel 4.4 Perbandingan berbagai bahan komposit untuk nilai HVL, μ dan μ_m	20

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada abad kedua puluh satu, penggunaan sinar-X dan radiasi gamma meningkat pesat di berbagai bidang seperti diagnosis medis, industri, proteksi radiasi, kristalogafi, spektrometri, dll [1]. Terlepas dari pentingnya radiasi dalam berbagai bidang, radiasi sinar-X dapat berbahaya bagi manusia dan lingkungan sekitar. Paparan jangka panjang terhadap radiasi dapat menyebabkan kerusakan jaringan dan kanker [2]. Sinar-X merupakan radiasi pengion yang berbahaya bagi kesehatan sehingga tindakan pencegahan dilakukan untuk meminimalkan bahaya radiasi. Terkadang, memaksimalkan jarak dan meminimalkan waktu paparan radiasi tidak dapat dilakukan. Sehingga, untuk melindungi manusia terutama pekerja radiasi, bahan pelindung penting untuk menghindari efek destruktif radiasi pengion [3,4]. Salah satu jenis pelindung radiasi yang dibutuhkan pekerja radiasi adalah apron [5]. Material yang biasa digunakan untuk pelindung radiasi adalah timbal. Namun, perlu untuk mengganti bahan pelindung timbal yang dapat mengancam kesehatan manusia dengan bahan yang tidak beracun dan berbiaya rendah [1,6]. Oleh karena itu, dibutuhkan material lain untuk apron pelindung dari radiasi sinar-X.

Bahan atom seperti karbon dan besi, memiliki sifat fleksibilitas, massa ringan, kuat, hanya memiliki sedikit bahaya dan mudah tersedia dengan biaya efektif [7]. Bahan yang biasanya digunakan untuk meningkatkan sifat penyerapan dan mengurangi ikatan yang tidak stabil pada permukaan komposit adalah karbon seperti yang dilaporkan oleh Abdullah [8]. Bahan pelindung seperti baja (logam besi dan karbon) disarankan karena memiliki nomor atom dan kepadatan yang lebih tinggi [9]. Radiasi partikel berenergi pada bahan multifase seperti Fe-Cu dapat membuat proses transformasi fase, Fe dan Cu memiliki kepadatan yang baik (dalam hal perisai radiasi), kuat, banyak ditemukan, dan memiliki konduktivitas tinggi. Paduan dari Fe-Cu dipilih berdasarkan nilai *Half Value Layer* (HVL) semakin kecil

yang mengidentifikasi penambahan Fe-Cu memiliki dampak yang berarti sebagai pelindung radiasi [10].

Kemajuan dari penelitian ini adalah material paduan Fe-Cu yang digunakan sebagai *filler*, material matriks yang baru yaitu selulosa dan *Polyvinyl Alcohol* (PVA) sebagai perekat, dibanding dengan penelitian sebelumnya [5] hanya menemukan komposisi maksimal dari Fe₃O₄ sebagai pilihan kombinasi terbaik dalam mendukung sifat penyerapan pada komposit pati singkong/Karbon Hitam (BC)/Fe₃O₄/gliserin. Pengaruh jumlah Fe₃O₄ pada komposit pati singkong/BC/Fe₃O₄/gliserin terhadap penyerapan sinar-X sebagai pengetahuan dasar untuk memahami mekanisme dan hubungan antara sifat-sifat tersebut dalam mendukung kinerja komposit yang belum diselidiki secara eksperimental.

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA dengan variasi jumlah komposisi Fe-Cu terhadap penyerapan sinar-X yang disintesis dengan metode sederhana yang dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) dan analisis sifat struktur dengan menggunakan (*X-ray Diffraction*) serta karakterisasi menggunakan SEM untuk mengetahui morfologi sampel. Hasil uji penyerapan sinar-X diperoleh dari *X-ray Mobile*. Efek dari komposisi Fe-Cu dalam komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA sebagai sifat penyerapan radiasi sinar-X untuk menemukan komposisi terbaik dalam mendukung kinerja material.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan variasi Fe-Cu pada komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA terhadap sifat struktur dan kemampuan penyerapan radiasi sinar-X?
2. Bagaimana pengaruh ukuran kristal terhadap kemampuan absorpsi sinar-X pada komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang melatarbelakangi penelitian ini adalah:

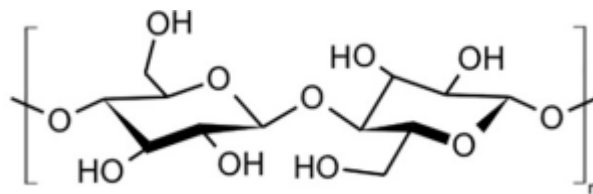
1. Menganalisis pengaruh penambahan variasi Fe-Cu pada komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA terhadap sifat struktur dan kemampuan penyerapan radiasi sinar-X.
2. Menganalisis pengaruh ukuran kristal terhadap kemampuan absorpsi sinar-X pada komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Selulosa

Selulosa adalah biopolimer paling melimpah di bumi, ditemukan di pepohonan, limbah dari tanaman pertanian, dan biomassa lainnya [11]. Selulosa memiliki ukurannya yang kecil, biodegradabilitas, dan sifat mekanik yang baik, telah terbukti secara signifikan meningkatkan sifat mekanik material komposit [12].

Selulosa terdiri dari komponen karbon, hidrogen, dan oksigen, dan karbonisasinya terutama melepaskan karbon dioksida dan air, selulosa tidak memiliki titik leleh yang jelas, selulosa merupakan polisakarida makromolekul yang sejumlah besar atom oksigen dalam struktur selulosa mengalami autooksidasi tinggi pada suhu tinggi [13].



Gambar II.1 Struktur Kimia Selulosa

II.2 Fe-Cu

Besi (Fe) merupakan logam yang paling banyak digunakan. Besi terletak pada golongan VIII B periode 4, dengan konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$ dan nomor atom 26. Sedangkan Tembaga (Cu) merupakan logam transisi golongan I B periode 4 yang memiliki konfigurasi elektron $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$ dengan nomor atom 29 [14].

Paduan Fe-Cu adalah kombinasi yang stabil dari dua komponen besi dan tembaga. Fe-Cu merupakan paduan *biner quasicrystal* metastabil magnetik yang memiliki sifat mekanik, listrik, dan termal yang menarik. Uji *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) yang dilakukan pada material ini telah menunjukkan stabilitas termal, dan stabilitas fasa [15].

II.3 Sifat Perisai Radiasi

Efektivitas perisai radiasi pada sampel diketahui dengan menghitung, koefisien atenuasi linier (μ), koefisien atenuasi massa (μ_m), *Half Value Layer* (HVL), dan *Mean Free Path* (MFP), dimana [16]:

Menurut hukum Beer Lambert, intensitas foton yang melewati sampel berkurang seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1). Persamaan tersebut dapat diturunkan untuk mendapatkan μ [17].

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana x adalah ketebalan sampel (cm), intensitas radiasi awal (I_0) hingga intensitas setelah melewati sampel (I). Kita dapat menemukan μ_m (cm^{-1}) dari persamaan berikut [18]:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Dimana, ρ adalah densitas dan $\mu = -\frac{1}{x} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right)$ dari persamaan 1, Sehingga:

$$\mu_m = -\frac{1}{\rho x} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (3)$$

HVL ditentukan dari ketebalan perisai radiasi yang dapat mereduksi radiasi hingga setengah dari intensitas radiasi awal. Dan untuk nilai MFP sebagai fungsi energi foton yang merupakan jarak rata-rata antara dua interaksi foton yang berdekatan. HVL dan MFP dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan [19]:

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (4)$$

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

II.4 Sifat Struktur Material

Sifat struktur merupakan salah satu sifat dasar material yang perlu diketahui sebelum dimanfaatkan untuk aplikasi tertentu. Beberapa sifat struktur material seperti ukuran kristal (D) dan *dislocation density* (δ) yang dapat ditentukan dengan analisis kuantitatif berdasarkan spektrum XRD. Rata-rata ukuran kristal pada komposit dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer [20]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (6)$$

dimana D adalah rata-rata ukuran kristal (nm), λ adalah panjang gelombang sinar-X = 1,54056 nm dengan Cu sebagai sumber radiasi, β adalah lebar penuh pada setengah dari maksimum puncak (FWHM) dalam radian, K adalah konstanta Scherrer = 0,89, dan θ adalah sudut difraksi. *Dislocation density* (δ) dapat ditentukan dari hubungan antara ukuran kristal yang dihitung dengan persamaan berikut [20]:

$$\delta = \frac{1}{D^2} \quad (7)$$

dimana δ berbanding terbalik dengan ukuran kristal.

II.5 Perkembangan bahan Apron

Telah diketahui dengan baik bahwa timbal dan turunannya umumnya digunakan untuk pelindung radiasi gamma dalam aplikasi teknologi yang berbeda [1]. Variasi apron timbal telah dilakukan sebagai perlindungan fungsi energi sinar-X. Kerugian dari apron timbal adalah toksisitas [21], apron timbal secara alami berat dan tidak nyaman jika digunakan dalam waktu lama bagi pekerja radiasi. Selain itu, apron timbal juga beracun, sehingga pembuatan dan pembuangan timbal telah dibatasi dan juga dilarang dalam beberapa kasus [22]. Penelitian-Penelitian sebelumnya telah menyimpulkan bahwa sebagian besar apron generasi baru bebas timah memberikan perlindungan yang memadai dan sebanding dengan apron timbal [21].

II.6 Komposit Selulosa/BC/Fe-Cu/PVA

Bahan besi dan tembaga adalah kombinasi yang stabil dari dua komponen [23]. Polivinil Alkohol (PVA) merupakan polimer berbasis minyak bumi termoplastik yang memiliki sifat pembentuk dan pengemulsi yang sangat baik. PVA adalah polimer yang larut dalam air, tidak beracun, sepenuhnya dapat terurai, dan biokompatibel [12]. Struktur selulosa dapat meningkatkan kinerja PVA dalam hal sifat mekanik, termal dan penahan, sehingga dapat digunakan komposit struktural yang ramah lingkungan [24].

Dengan mensintesis apron komposit menggunakan paduan Fe-Cu dan karbon hitam sebagai pengisi (*filler*) dengan selulosa sebagai matriks untuk aplikasi apron yang fleksibel. Maka penambahan karbon hitam ke dalam campuran antara selulosa dan Fe-Cu bekerja untuk memberikan penguatan secara mekanik dan sifat listrik pada komposit [25].

BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Februari 2022 – Juni 2022 bertempat di Laboratorium Material dan Energi Departemen Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, Laboratorium Kimia Terpadu Departemen Kimia FMIPA Universitas Hasanuddin, dan Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar.

III.2 Alat dan Bahan Penelitian

III.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Neraca Digital
2. *Mixing (Retsch MM 400)*
3. *Magnetic Stirrer dan Magnetic Bar*
4. Cetakan (*mold*)
5. *Furnace*
6. Spatula
7. Gelas Ukur
8. Gelas Kimia
9. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*
10. *X-Ray Diffraction (XRD)*
11. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*
12. *X-Ray Mobile*
13. Multimeter *X-Ray*

III.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. *Polyvinyl Alcohol (PVA)*
2. Akuades
3. Fe
4. Cu
5. Karbon Hitam (BC)