

**SKRIPSI**

**FABRIKASI KOMPOSIT BERBASIS PATI SINGKONG (*CASSAVA STARCH*)/KAYU BAKAU (*RHIZOPHORA SPP*) DOPING NANOPARTIKEL ZINC (Zn) SEBAGAI FANTOM DAN KARAKTERISTIK ABSORBANSINYA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**MUHAMMAD AZLAN**

**H021 18 1320**



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

**FABRIKASI KOMPOSIT BERBASIS PATI SINGKONG (CASSAVA STARCH)/KAYU BAKAU (*RHIZOPHORA SPP*) DOPING NANOPARTIKEL ZINC (Zn) SEBAGAI FANTOM DAN KARAKTERISTIK ABSORBANSINYA**

**SKRIPSI**

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

**MUHAMMAD AZLAN**

**H021 18 1320**

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

**2023**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**FABRIKASI KOMPOSIT BERBASIS PATI SINGKONG (*CASSAVA STARCH*)/KAYU BAKAU (*RHIZOPHORA SPP*) DOPING NANOPARTIKEL ZINC (Zn) SEBAGAI FANTOM DAN KARAKTERISTIK ABSORBANSINYA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD AZLAN**

**H021 18 1320**

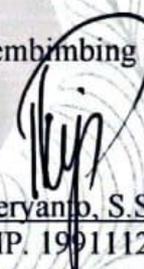
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 4 Agustus 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui

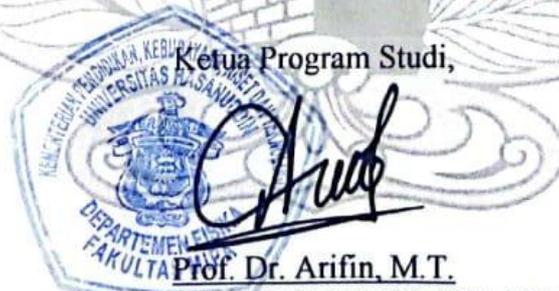
Pembimbing Utama,

  
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 : Muhammad Azlan  
NIM : H021 18 1320  
Program Studi : Fisika  
Jenjang : S1

dengan ini menyatakan bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**Fabrikasi Komposit Berbasis Pati Singkong (*Cassava Starch*)/Kayu Bakau (*Rhizophora Spp*) Doping Nanopartikel Zinc (Zn) sebagai Fantom dan Karakteristik Absorbansinya**

merupakan karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain.

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, 4 Agustus 2023

Yang Menyatakan,



Muhammad Azlan

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, fabrikasi fantom berbasis pati singkong (*cassava starch*)/kayu bakau (*rhizophora spp*) dengan variasi doping nanopartikel *zinc* (Zn) telah berhasil dilakukan dengan metode sederhana. Karakteristik sifat struktur komposit ditentukan berdasarkan analisis kuantitatif spektrum *X-Ray Diffraction* (XRD) dan ikatan kimia ditentukan berdasarkan spektrum *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Kemampuan absorpsi dari komposit sampel dianalisis dari penyinaran sinar-X dengan menggunakan CT-Scan pada energi 120 kV untuk mendapatkan beberapa parameter radiasi seperti: koefisien atenuasi linier ( $\mu$ ) dan koefisien atenuasi massa ( $\mu_m$ ) yang ditentukan dengan mengambil *Region of Interest* (ROI) untuk mendapatkan nilai *CT-Number*. koefisien atenuasi ( $\mu$ ) yang diamati pada penelitian ini berkisar antara 0,289-0,354  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa material komposit Cassava Starch/Rhizophora Spp/Zn menunjukkan kemampuan yang baik dan potensi sebagai pengganti fantom komersil.

**Kata Kunci:** Fantom, Pati Singkong, Bakau, Seng (Zn), Sinar X-ray, Koefisien atenuasi linear, Koefisien atenuasi massa.

## ABSTRACT

In this study, the fabrication of cassava starch/rhizophora spp based phantoms with variations in zinc (Zn) nanoparticle doping has been successfully carried out by a simple method. The characteristics of composite structural properties were determined based on quantitative analysis of X-Ray Diffraction (XRD) spectra and chemical bonds were determined based on Fourier Transform Infrared (FTIR) spectra. The absorption ability of the composite samples was analyzed from X-ray irradiation using CT-Scan at 120 kV energy to obtain several radiation parameters such as: linear attenuation coefficient ( $\mu$ ) and mass attenuation coefficient ( $\mu_m$ ) which were determined by taking the Region of Interest (ROI) to obtain the CT-Number value. the attenuation coefficient ( $\mu$ ) observed in this study ranged from 0.289-0.354  $\text{cm}^{-1}$ . The results showed that the Cassava Starch/Rhizophora Spp/Zn composite material showed good capability and potential as a replacement for commercial phantoms.

**Keywords:** Phantom, Cassava Starch, Rhizophora Spp, Zinc (Zn), X-ray radiation, Linear attenuation coefficient, Mass attenuation coefficient.

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah ﷻ yang maha pemberi petunjuk lagi maha pemberi manfaat, yang maha mengetahui lagi maha luas karunia-Nya. Berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “**Fabrikasi Komposit Berbasis Pati Singkong (*Cassava Starch*)/Kayu Bakau (*Rhizophora Spp*) Doping Nanopartikel Zinc (Zn) sebagai Fantom dan Karakteristik Absorbansinya**” yang merupakan syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Fisika Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad ﷺ, Nabi yang perkataan, perilaku, dan diamnya menjadi teladan bagi umat islam dalam berperilaku dan beribadah, Sang Revolusioner sejati yang telah menuntun kita keluar dari peradaban jahiliyah menuju zaman pencerahan saat ini.

Segala perjuangan dalam penyelesaian skripsi penulis telah mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini terjadi karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki oleh penulis. Namun atas kehendak-Nya hambatan tersebut berhasil dilalui oleh penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga kecilku, terkhusus kepada Ayahanda **Sudirman Sucipto** dan Ibunda **Suriani**, dua sosok yang telah berhasil melahirkan, mendidik, dan membesarkan penulis hingga akhirnya penulis bisa berada di titik ini. Terima kasih telah menjadi penyumbang cinta terbesar dalam perjalanan hidup penulis yang terwujudkan dalam bentuk kasih sayang dan dukungan yang diberikan baik secara moral maupun secara materi. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada saudara-saudara terkasih

**Muhammad Rizwan, Siti Nuranisyah, dan Siti Nurul Aisyah** yang selalu memberikan dukungan-dukungan terbaiknya.

2. **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.** selaku dosen pembimbing utama dan Bapak **Heryanto, S.Si. M.Si.** selaku dosen pembimbing pertama serta Ibu **Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si., M.Si.,** selaku dosen penasehat akademik yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya. Terima kasih telah menjadi kompas dikala penulis kehilangan arah dan membukakan jalan pada setiap lorong kebuntuan yang didapati penulis selama pengerjaan skripsi ini.
3. **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.** dan **Prof. Dr. rer-nat Wira Bahari Nurdin** selaku tim penguji dalam pelaksanaan seminar proposal, seminar hasil, dan ujian sidang skripsi fisika yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya. Terima kasih karena telah menjadi salah satu alasan bagi penulis untuk selalu menampilkan hasil terbaik dari usahanya.
4. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku Rektor Universitas Hasanuddin, **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr. Arifin, M.T.** selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, serta **Bapak dan Ibu Dosen Pengajar Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin,** terima kasih karena telah mengisi ruang-ruang kosong di kepala penulis dengan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat.
5. Bapak/Ibu **Staf Pegawai FMIPA UNHAS,** terkhusus **Staf Departemen Fisika: Ibu Rana, Ibu Evi, Pak Syukur, dan Pak Ahmad.** Terima kasih telah berperan dalam pengurusan administrasi ataupun non-administrasi selama penulis menjalankan masa studinya.
6. Bapak/Ibu Pegawai RSUD Haji Makassar, terkhusus kepada pembimbing lapangan penulis Ibu **Ulfa Rosyidah, S.Si.,** terima kasih telah melebarkan

senyum dan sangat ramah saat kebersamai penulis selama Kerja Praktek dan pengambilan data Tugas Akhir.

7. Bapak/Ibu Pegawai BPFK Makassar, terkhusus kepada Ibu **Jumriah, S.Si., M.Si.** dan Bapak **Alan Tanjung Aji Prastowo, S.Si.** terima kasih telah mengajarkan dan membimbing saat kebersamai penulis dalam pengambilan data radiasi.
8. Suhu-suhu Lab. Material dan Energi, terkhusus kepada Kak **Inayatul Mutmainnah, S.Si., M.Si.,** Kak **Nurul Awaliyah Muhammad, S.Si., M.Si.,** Kak **Nurul Mutmainnah, S.Si., M.Si.,** Kak **Nurhaniah, S.Si., M.Si.,** Kak **Fatmawati Sudarman, S.Si., M.Si.,** Kak **Muhammad Angga Anugrah, S.Si., M.Si.,** Kak **Nurul Amalia Humaera, S.Si., M.Si.,** Kak **Destalina, S.Si., M.Si.,** Kak **Sasa Harkiah, S.Si., M.Si.,** Kak **Titin Fatmawati, S.Si.** dan Kak **Rekawati, S.Si.,** terima kasih atas semangat yang diberikan, bantuan dalam hal bimbingan eksperimen dan pengolahan data serta pembahasan tanpa mengenal posisi matahari, tempat berpijak, dan kondisi lingkungan. Terima kasih juga telah menjadi sosok yang mengisi warna di kehidupan penulis dengan berbagai kisah.
9. Member Pesantren Material: Kak **Roni Rahmat, S.Si.,** Kak **Ardiansyah, S.Si.,** dan Kak **Ahmad Nurul Fahri, S.Si.** yang kebersamai penulis selama di Lab. Material dan Energi. Terima kasih telah sangat baik kepada penulis, menjadi adzan dikala lalai, menjadi kicau dikala sepi, memapah dikalah pincang, dan menjadi air saat dahaga.
10. Kolega Lab. Material dan Energi: **Nurul Fajri Ramadhani Tang, Vika Sri Anti, Syarifuddin, Muh. Nur Nasyroh, Milad Ramdan, Nurwahyuni Hamzah, Maulidiyah, Putri Dwi Pratiwi, Dei Erwina,** dan **Yulia Fajriani,** yang kebersamai penulis selama menyelesaikan skripsi. Terima kasih atas segala bentuk bantuan dan dukungannya, serta terima kasih telah melemparkan canda dan melahirkan tawa dikala kejenuhan datang.
11. **Optik Squad** yang menjadi tempat awal mencari jati diri pengerjaan skripsi.

12. Saudara yang tak sedaraku sejak dalam masa kandungan Koridor Tercinta dalam nama **MIPA 2018** dengan slogannya “Takkan Pudar” hingga lahir di Lapangan Bina Kader dengan nama **Himafi 2018** (80 Orang), **Aini, Sri, Dhea, Vika, Nunu, Dilla, Evy, Fira, Jihan, Fya, Jojo, Juni, Lekko, Windy, Mute, Ocha, Feni, Nilam, Accam, Fiskah, Ayu, Nisa, Yeni, Fina, Aqila, Ainul, Bonca, Ilmi, Irma, Fhaika, Syana, Iis, Zefa, Yessi, Risda, Fatim, Angela, Uli, Afni, Milen, Wibu, Gebi, Firda, Dena, Wilda, Cunni, Suci, Yuyun, Onding, Sheren, Rana, Sari, Matan, Azmi, Azizah, Izzah, Dede, Rahmat, Gopal, Sandro, Komang, Heral, Sinyo, Ipul, Tara, Sarwan, Yansen, Yusril, Indra, Ocan, Syahrul, Masdar, Yusran, Fian, Slengos, Hadi, Mulyanto, Yusuf, Hasnan** dirawat dengan kalimat “Satu Tekad, Taklukkan Waktu” dan dibesarkan di LFD 107 (sekretariat Himafi FMIPA Unhas). Terima kasih untuk siap direpotkan dan menjadi alarm saat penulis terlelap. Terima kasih telah hadir menjadi orang baik dan telah mengisi durasi hidup penulis dengan sequence yang bermakna nan indah, kebersamaan dan ceritanya, ini akan selalu ada dan tetap terjaga.
13. Kakak-kakak dan adik-adik yang tak sedarah di KM FMIPA Unhas, terkhusus Kakak **Himafi 2015**: Kak **Hafiz**, Kak **Amming**, Kak **Wily**, Kak **Al**, Kak **JR** dkk, Kakak **Himafi 2016**: Kak **Arief**, Kak **Winda**, dkk dan Kakak **Himafi 2017**: Kak **Callu**, Kak **Agung**, Kak **Aat**, Kak **Puad**, Kak **Ola**, Kak **Uci**, Kak **Rahma**, Kak **Ate**, Kak **Zahrah**, Kak **Muqoil**, Kak **Madan**, Kak **Sabran**, Kak **Rial**, Kak **Fadlan**, dkk yang telah membantu proses persalinan Himafi 2018. Terima kasih telah menjadi peta yang selalu memberikan arah untuk penulis baik dalam bidang akademik maupun non-akademik selama periode mahasiswanya. Dan juga terkhusus Adik **Himafi-HMGF 2019**, Adik **Himafi-HMGF 2020**, Adik **Himafi-HMGF 2021** dan Adik **Himafi-HMGF 2022**. Terima kasih atas segala bentuk dukungan yang diberikan.

14. Teman-teman **Fisika Angkatan 2018**, terimakasih telah kebersamai penulis menyantap mata kuliah dan praktikum-praktikum dengan lahap.
15. Kepada member **Penelitian Lab Material: Adik-adik Fisika 2019 Asirah, Sire, Gunawan, Rasak**, dkk, juga Adik-adik Fisika 2020 **Fatma, Novi** dkk, terima kasih segala bentuk support yang diberikan.
16. **OMEGA FMIPA Unhas** terkhusus kawan Diksar XXV Kak **Khalis, Tater, Yusri, Akbar, Nurul**, dan **Tiche**, terima kasih telah kebersamai mengukir kisah petualangan penulis di alam sulawesi.
17. **MIPA Basketball Club** yang menghiasi hidup sehat penulis dengan menyucurkan banyak keringat, perjuangan dan kerja keras selama menyalurkan hobi penulis.
18. **HPMN Kaltara** terkhusus saudara seperjuangan **HPMN LDK XIII**, terima kasih selalu menjadi pengingat dikala terluput dan pemberi warna dalam kehidupan penulis selama dirantau.
19. **RBK 2018: Alm. Aswin, Busma, Eko, Fadil**, dan **Rahmat**, *syukron jazakumullah khairan* telah mengisi dan memberi histori selama kehidupan mahasantri penulis.
20. **Squad Dakwah Kampus** terkhusus saudara fii sabilillah **Pejuang Tim Buka Puasa MPM** dan **Pengurus Mushollah Istiqomah**, *syukron* atas segala bekal akhirat, ilmu yang bermanfaat dan *ukhuwah* islamiyah yang penulis dapatkan selama berada di jalan jihad.
21. **KKNT Gel. 108 Smart Village Barru**, Special gift thanks to Posko 3 Keluarga Cemara, **Sri Umi Rahayu, Nurul Fauziah, Widya Safitri, Intan Sari, Annisa Nurul Haq, Nurul Aulyah Paisal, Muh. Ahkam Sughal Hanafi, Farhan Rahman**, terima kasih telah menjadi bagian dari sejarah kisah hidup penulis. Ucapan terima kasih juga tak lupa sobat seperjuangan di bumi Barru, para pejantan pencari **Mangga Sore** yang memberikan lukisan indah disetiap cerita membingkai di ufuk senja.

22. Sahabat penulis **Adi Wicaksono, Dwi Ayu, Indah Salsabila** terima kasih karena selalu ada disaat penulis lelah mencari jalan keluar dari labirin kehidupan, menjadi garda terdepan pendengar segala keriuhan permasalahan penulis, memberikan wejangan-wejangan hangatnya untuk kebaikan penulis.
23. *For the best traveling partner*, **Tai Kucing: Alif, Ardi, Chand, Snuf, Jalil, El, Lutfi, Ail, Irfan, Camp Dadakan & MIPA Nanjak,; Juni Wahdaniyah, Kido, Nasmah, Ana, Ica Stat, Marsya, Pitto, Vivi, Tim Gas gass: Winai, Yaya, Ica Bio, Farhan, Samad, Bu Aji, Cila', Anti, Ferdi, Daus, Lesta, Nisa, Aul, Nadnad, Hana, Saso, Ara, Lisa, Nasrun, Riyey, Neng, Sitnur, Feby, Risya, Nanda, Hazel, Mujal, Ucil**, terima kasih telah datang dan menjadi beban dalam hidup penulis. Terima kasih telah membuat penulis tersenyum dan tertawa seperti orang gila.
24. Teman-teman seperjuangan di **SMAN 1 Nunukan (Unesco 28)**, terkhusus **XII IPA 3 (Ghost28)** terimakasih telah memberikan dukungan dan support terbaiknya.
25. Kepada pemilik hati penulis, terima kasih telah menjadi sosok rumah yang selalu ada buat penulis, menjadi bagian dari novel panjang perjalanan kisah hidup penulis, terima kasih telah menjadi alasan penulis tersenyum dan menjadi bagian dari hidup penulis.
26. Teruntuk orang-orang yang pernah hadir dalam drama *romance* penulis, Terima kasih karena tanpa kalian mungkin penulis tidak akan menjadi orang yang sekuat ini, tanpa kalian mungkin penulis tidak akan pernah tahu rasanya bangkit setelah jatuh, tanpa kalian mungkin penulis tidak akan pernah tahu rasanya sakit, dan karena kalian penulis ingin menjadi pribadi yang lebih baik lagi.
27. **Semua Pihak** yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, kalian semua orang baik dan kalian berharga. Terima kasih telah mengisi kepingan puzzle perjalanan hidup penulis dan berkontribusi dalam hidup penulis terkhusus dalam penyelesaian skripsi ini.

Akhir Kata, semoga Allah SWT memberikan segala kebaikan kepada seluruh pihak yang telah mengulurkan bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk diri penulis pribadi dan khalayak ramai. Aamiin.

Makassar, 4 Agustus 2023

Muhammad Azlan

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
II.1 Sinar-X .....	4
II.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi .....	5
II.2.1 Efek Foto Listrik .....	5
II.2.2 Efek Compton .....	5
II.2.3 Produksi Pasangan .....	6
II.3 Koefisien Atenuasi Linear dan Koefisien Atenuasi Massa .....	6
II.4 Fantom .....	7
II.5 Material Fantom .....	8
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	9
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	9
III.2.1 Alat Penelitian .....	9
III.2.2 Bahan Penelitian .....	9
III.3 Prosedur Penelitian .....	10
III.3.1 Preparasi Sampel .....	10
III.3.2 Pembuatan Sampel Fantom .....	10
III.4 Karakterisasi.....	11

III.4.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	11
III.4.2 <i>Fourier Transform Infrared Spektrofotometer (FTIR)</i> .....	11
III.5 Uji Sinar X .....	11
III.6 Bagan Alir Penelitian.....	12
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
IV.1 Analisis Sifat Struktur.....	13
IV.1.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	13
IV.1.2 <i>Fourier Transform Infrared Spektrofotometer (FTIR)</i> .....	15
IV.2 Analisis Penyinaran Sinar-X.....	17
<b>BAB V. PENUTUP</b>	
IV.1 Kesimpulan .....	19
IV.2 Saran .....	19
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	20
<b>LAMPIRAN</b> .....	26

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Ilustrasi Efek Fotolistrik.....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Ilustrasi Efek Compton.....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Ilustrasi Produksi Pasangan.....	6
<b>Gambar 3.1</b>	Ilustrasi skema pembuatan komposit fantom <i>Cassava starch/Rhizopora spp/Zn</i> .....	11
<b>Gambar 3.2</b>	Bagan Alir Penelitian .....	12
<b>Gambar 4.1</b>	Spektrum X-Ray Diffraction (XRD) komposit fantom.....	13
<b>Gambar 4.2</b>	Spektrum Fourier Transform Infrared Spektrofotometer (FTIR) komposit fantom.....	15
<b>Gambar 4.4</b>	Sampel fantom disinari 120kV menggunakan CT Scan Multislice.....	18
<b>Gambar 4.5</b>	Citra fantom <i>Cassava starch/Rhizopora spp</i> dengan penambahan nanopartikel Zn (A) tanpa Zn (B) 1 gr Zn (C) 3gr Zn (D) 5gr Zn .....	19

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1</b> Analisis Ukuran Kristal Hasil Uji XRD .....	14
<b>Tabel 4.2</b> Ikatan Kimia komposit fantom <i>Cassava starch/Rhizopora spp/Zn</i> ..	16
<b>Tabel 4.3</b> CT Number komposit <i>Cassava starch/Rhizopora spp/Zn</i> .....	19

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **I.1 Latar Belakang**

Ilmu pengetahuan dan teknologi dalam perkembangannya terus mengalami kemajuan yang sangat pesat, termasuk salah satunya adalah radiasi elektromagnetik. Pemanfaatan radiasi elektromagnetik telah banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan seperti industri, pertanian, transportasi, dan medis [1]. Dalam bidang medis, sinar-X merupakan salah satu radiasi elektromagnetik yang menjadi modalitas radiodiagnostik dan radioterapi sebagai alternatif untuk pengobatan penyakit kanker [2]. Dalam pemanfaatannya, paparan radiasi sinar-X tak terlepas dari efek negatif yang dapat ditimbulkan. Hal ini sangat berbahaya bagi kesehatan karena dapat merusak jaringan sehat yang diakibatkan oleh proses ionisasi [3]. Proses ionisasi yang terjadi merupakan hasil interaksi antara radiasi pengion dengan sel kanker maupun sel sehat yang berada disekitarnya yang membuat untai DNA terputus dan menyebabkan kematian sel [4][5]. Untuk itu perlu adanya pengontrolan kualitas radiasi agar dosis yang diberikan tepat dan akurat[6].

Fantom adalah salah satu alat penunjang dalam pengendalian mutu/*Quality Assurance* (QA) khususnya dalam pengukuran dosis radiasi yang mensimulasikan tubuh manusia [7]. Fantom telah banyak digunakan dalam pelatihan dan penelitian fisika medis untuk mempelajari efek radiasi, pencitraan medis, serta digunakan dalam beberapa penelitian radiologi seperti radioterapi [8], prosedur *Quality Assurance* (QA), pengukuran dosimetri [9], dan kualitas gambar [10]. Bahan fantom yang ideal harus memiliki sifat radiologis yang serupa dengan jaringan lunak manusia yaitu setidaknya memiliki sifat fisiko-mekanis yang baik, koefisien atenuasi dan juga densitas yang baik [11].

Umumnya, fantom yang digunakan secara komersil dan banyak digunakan terbuat dari Akrilik (*polymethyl methacrylate*) sejenis termoplastik. Meskipun biokompatibel dan dapat didaur ulang, namun tidak dapat terurai secara hayati. Statistik terbaru menunjukkan bahwa lebih dari 380 juta ton plastik diproduksi

setiap tahun. Karenanya limbah yang dihasilkan menjadi polutan dan berbahaya bagi lingkungan [12]. Fantom buatan pabrikan yang tersebar pada pasaran memiliki harga yang sangat mahal dan harus diimpor terlebih dahulu. Oleh sebab itu, banyak penelitian yang telah membuat fantom dari bahan-bahan alami yang mudah ditemukan dengan harga yang murah [9][13].

Akhir-akhir ini, kebutuhan akan material fantom untuk secara akurat meniru tubuh manusia sebagai penunjang perhitungan simulasi dosis radioterapi menjadi semakin berkembang [14]. Temuan Anugrah, *et.al.*, 2020 [15] mengungkapkan bahwa dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, bahan untuk pembuatan fantom seperti jaringan lunak, payudara, dan hati adalah komposit dari bahan polimer. Tidak hanya dengan bahan polimer tetapi juga material padat seperti Zn dilaporkan menunjukkan sifat yang sangat baik untuk pembuatan fantom, serta bahan padat lainnya seperti kayu tropis dan banyak bahan lainnya yang telah digunakan sebagai fantom. Dilansir oleh Siti, *et.al.*, 2021 [11] *Rhizophora spp* sebagai fantom baru berbasis bahan alam telah menunjukkan potensi yang sangat besar sebagai pengganti fantom dalam studi radiasi dan dosimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Rhizophora spp* memiliki atenuasi yang mirip dengan jaringan lunak. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Puteri, *et.al.*, 2019 [16] *Particleboard Rhizophora spp.* yang ditambahkan dengan pati sebagai perekat menunjukkan peningkatan sifat mekanik dan berpotensi sebagai material fantom. Nurlaela, *et al.*, 2021 [17] memperlihatkan sintesis pati singkong (*Cassava starch*) dapat digunakan sebagai penyerap radiasi.

Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan fabrikasi komposit *Cassava Starch/Rhizophora Spp/Zn* sebagai fantom melalui metode sederhana dengan memvariasikan komposisi seng/zinc (Zn) untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat struktur dan efektivitas komposit saat berinteraksi dengan radiasi sinar-X. Sifat struktur diamati melalui karakterisasi menggunakan *X-ray Diffraction (XRD)* dan *Fourier Transform Infrared Spektrofotometer (FTIR)* serta untuk efektivitas komposit sebagai fantom didapatkan dari analisis kuantitatif setelah disinari menggunakan pesawat *CT-Scan* untuk mendapatkan beberapa parameter hasil uji sinar-X.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang diatas, maka rumusan masalah penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana sifat struktur komposit *Cassava starch/Rhizopora spp/Zn* sebagai Fantom.
2. Bagaimana efektivitas komposit *Cassava starch/Rhizopora spp/Zn* yang dihasilkan dengan variasi Zn sebagai Fantom.

## **I.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis sifat struktur komposit *Cassava starch/Rhizopora spp/Zn* sebagai Fantom.
2. Menganalisis efektivitas komposit *Cassava starch/Rhizopora spp/Zn* yang dihasilkan dengan variasi Zn sebagai Fantom.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1 Sinar-X

Wilhelm Conrad Roentgen adalah tokoh di balik penemuan Sinar-X yang merupakan seorang fisikawan Universitas *Wurtsburg* Jerman pada tahun 1895. Pada saat itu Roentgen melakukan percobaan dengan tabung sinar katoda yang dialiri listrik kemudian ditutupi dengan kain sehingga sinar tidak dapat keluar, namun ia menemukan bahwa cahaya dari tabung dapat menembus bahan buram dan memicu layar berlapis kimia di dekatnya menyala atau terpendar[18].

Pada tabung generator sinar-X berisikan filamen yang juga berfungsi sebagai katoda dan anoda. Proses pemanasan filamen tabung katoda menyebabkan energi yang mengarah dan menabrak anoda yang terbuat dari bahan metal berinti atom tinggi seperti tungsten atau LaB<sub>6</sub> (*lanthanum hexa boride*) [18]. Akibat tabrakan tersebut, elektron terlepas kemudian dipercepat menuju anoda karena adanya perbedaan potensial antara katoda dan anoda yang menyebabkan tumbukan tidak lenting sempurna sehingga menghasilkan energi atau yang disebut emisi sinar-X [19][20].

Sinar-X merupakan salah satu gelombang elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang 0,01-10 nm [8] dengan energi yang tinggi pada rentang 10 eV hingga 100 keV membuat sinar-X mempunyai daya tembus yang tinggi [19][21]. Berdasarkan kejadiannya sinar-X dibagi menjadi dua tipe, yaitu sinar-X *Bremstrahlung* dan sinar-X Karakteristik. Sinar-X *Bremstrahlung* merupakan radiasi elektromagnetik yang bersifat kontinu dan dihasilkan ketika elektron yang datang cukup dekat dengan inti atom dibelokkan/dipantulkan sehingga terjadi perubahan momentum dan menghasilkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Energi yang dihasilkan inilah yang dikenal dengan sinar-X *Bremstrahlung*. Sedangkan, sinar-X Karakteristik bersifat diskrit dan terbentuk dari pancaran atom yang tereksitasi, kemudian melepaskan energi gelombang elektromagnetik yang kemudian dikenal sebagai sinar-X Karakteristik [22][23].

## II.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi

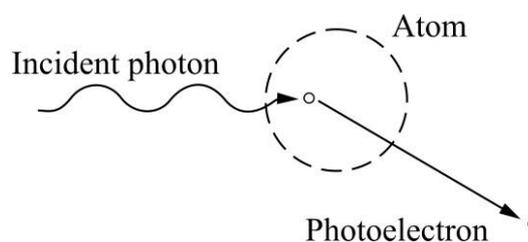
Radiasi sinar-X (foton) ketika berinteraksi dengan materi yang dilaluinya terjadi 3 proses utama, yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Efek fotolistrik dominan terjadi pada tingkat energi rendah, efek Compton dominan terjadi pada energi menengah, dan yang dominan terjadi pada energi tinggi adalah Produksi Pasangan [25][26].

### II.2.1 Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik adalah suatu kejadian saat sinar-X (foton) bertumbukan dengan atom sehingga energi foton yang datang terserap sepenuhnya oleh atom. Efek fotolistrik terjadi ketika foton datang memiliki energi rendah, berkisar antara 0.01 MeV – 0.5 MeV. Dalam efek fotolistrik, seluruh energi foton yang diserap ditransfer ke elektron mengakibatkan elektron terlepas. Terlepasnya elektron (fotoelektron) tersebut akibat dari energi foton yang datang lebih besar dari energi ikat elektron sehingga menghasilkan ion. Energi elektron yang dipancarkan sama dengan energi foton datang dikurangi energi ikat elektron. Ini dijelaskan dalam persamaan fotolistrik Einstein [22][23]:

$$E_e = h\nu - \phi \quad (2.1)$$

di mana  $E_e$  adalah energi elektron yang dikeluarkan,  $h\nu$  adalah energi foton yang datang, dan  $\phi$  adalah energi ikat elektron atau energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari atom [22][23].

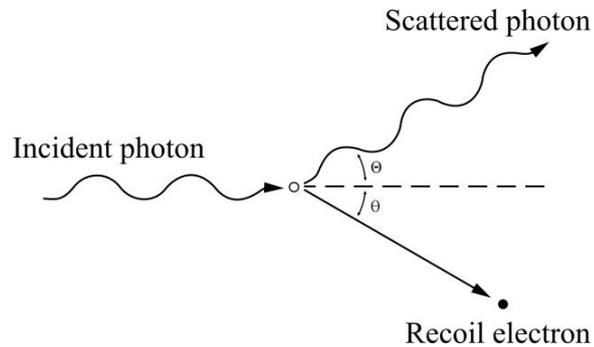


**Gambar 2.1** Ilustrasi Efek Fotolistrik

### II.2.2 Efek Compton

Efek Compton adalah kejadian tumbukan antara sinar-X (foton) dengan atom sehingga energi foton yang datang terserap sebagian dan kemudian membelokkannya dengan sudut  $\theta$ , sedangkan elektron yang ditumbuk terlempar

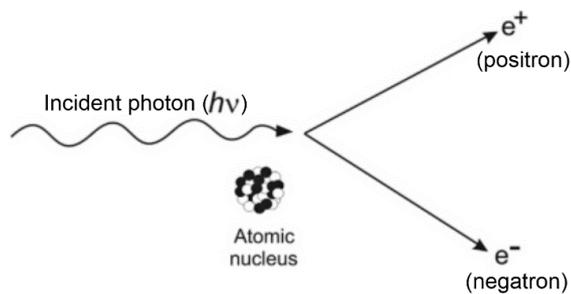
pada sudut  $\theta$  keluar lintasan. Efek Compton dominan terjadi bila energi foton  $> 0.5$  MeV. Sama halnya seperti dalam kasus efek fotolistrik, hasil interaksi ini adalah pembentukan ion [22][23].



**Gambar 2.2** Ilustrasi Efek Compton

### II.2.3 Produksi Pasangan

Produksi pasangan adalah kejadian ketika sinar-X (foton) dengan energi  $\geq 1.02$  MeV yang bertumbukan dengan suatu atom sehingga foton tersebut memasuki daerah inti atom, maka foton berubah dan memproduksi satu pasangan positron (bermuatan positif) dan negatron (bermuatan negatif) yang masing-masing berenergi sebesar 0.51 MeV [22][23].



**Gambar 2.3** Ilustrasi Produksi Pasangan

### II.3 Koefisien Atenuasi Linier dan Koefisien Atenuasi Massa

Koefisien atenuasi linier ( $\mu$ ) adalah Fraksi foton yang dihilangkan dari sinar-X atau sinar gamma saat melewati suatu materi per satuan ketebalan materi tersebut. Secara sederhana koefisien atenuasi linier diartikan sebagai kemampuan suatu bahan dalam menyerap radiasi[16]. Berdasarkan Hukum Lambert-Beer yang menyatakan [16][24]:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.2)$$

$$\mu = -\frac{1}{x} \ln \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad (2.3)$$

dimana  $I$  adalah intensitas yang melewati materi,  $I_0$  adalah intensitas awal,  $\mu$  adalah koefisien atenuasi linear ( $\text{cm}^{-1}$ ), dan  $x$  adalah ketebalan materi (cm). hubungan koefisien atenuasi linier dan koefisien atenuasi massa didapatkan dari persamaan berikut [16][24]:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.4)$$

dimana  $\mu_m$  adalah koefisien atenuasi massa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dan  $\rho$  adalah densitas.

#### II.4 Fantom

Fantom didefinisikan sebagai objek yang mampu bertindak sebagai simulasi jaringan untuk mereplikasi karakteristik jaringan manusia ataupun hewan [25]. Air adalah bahan pertama yang digunakan sebagai pengganti jaringan dalam pengukuran radiasi oleh Kienbock awal 1906 [4], karena tubuh manusia terdiri dari 75% air. Oleh karena itu, air biasanya digunakan sebagai bahan fantom standar [10]. Kemudian pada tahun 1960 diperkenalkan *Phantom* Alderson RANDO yang kala itu adalah salah satu fantom *antropomorfik* pertama yang digunakan untuk studi radiasi [4][11]. Fantom merupakan sebuah alat penunjang untuk studi dan pengendalian mutu dalam bidang radiologi. Pemanfaatan fantom telah banyak digunakan seperti pada pelatihan dan penelitian fisika medis untuk mempelajari efek radiasi, pencitraan medis dan digunakan dalam beberapa penelitian radiologi, seperti radioterapi [26], prosedur *Quality Assurance* (QA) dan pengukuran dosimetri [9], serta kualitas gambar [10].

Fantom dibuat secara umum agar dapat merepresentasikan dan dapat menunjukkan sifat yang sama dengan jaringan lunak manusia. Untuk mensimulasikan hal tersebut, bahan fantom harus memiliki beberapa aspek termasuk sifat fisik, sifat optik (nilai serapan), sifat mekanik (elastisitas) dan sifat radiologisnya [11].

## II.5 Material Fantom

Air adalah material yang biasa digunakan sebagai Fantom karena memiliki densitas yang mendekati jaringan tubuh manusia [11]. Namun, penggunaan air sebagai fantom dianggap tidak fleksibel mengingat bentuk dan ukurannya yang tidak konsisten. Keterbatasan tersebut antara lain sulitnya menemukan beberapa jenis dosimeter radiasi karena banyak yang tidak cocok untuk digunakan di dalam air. Oleh karena itu, fantom padat diperkenalkan dan dikembangkan sebagai pengganti air [11]. Banyak bahan padat seperti polistiren, kayu tropis, akrilik dan bahan lainnya telah ditemukan sangat berguna untuk digunakan sebagai bahan fantom [28]. Akrilik (*polymethyl methacrylate*) sejenis termoplastik adalah bahan padat yang juga biasa digunakan sebagai material fantom pengganti air, namun limbahnya berbahaya bagi lingkungan.

Telah ditemukan bahwa *Rhizophora spp* adalah contoh bahan komposit alami yang dapat terurai secara hayati, memiliki nilai koefisien atenuasi linier sebesar  $0.0212 \text{ mm}^{-1}$  yang mendekati  $0.0205 \text{ mm}^{-1}$  (koefisien atenuasi air) dan atenuasi yang mirip dengan jaringan lunak sehingga banyak digunakan dalam pembuatan fantom radiasi [1][12]. *Rhizophora spp* yang direduksi menjadi partikel-partikel kecil (*particleboard*) telah menunjukkan sifatnya yang baik sebagai material fantom [29]. Penambahan material padat seperti seng/zinc (Zn) mampu meningkatkan efek fotolistrik dan mempengaruhi koefisien atenuasi linier dan koefisien atenuasi massa pada komposit fantom [24]. Selain itu, penggunaan bahan bioadhesive menunjukkan peningkatan yang signifikan pada sifat fisik dan mekanik fantom [16]. Bioadhesive seperti protein, selulosa, getah, dan pati telah digunakan untuk pengganti perekat [16][30]. Diketahui bahwa pati termasuk pati singkong (*Cassava starch*) merupakan salah satu polimer alami yang melimpah, biodegradable dan telah digunakan sebagai perekat dalam berbagai macam produk [31]. Penggunaan gliserin juga dapat meningkatkan koefisien atenuasi fantom dan menyerupai jaringan lunak [3]. Untuk meningkatkan proses sintesis, penambahan gliserin yang merupakan bahan intralipid dan bersifat hidrofilik sehingga dapat mempertahankan homogenitas dari komposit fantom, serta pelumas yang baik sehingga memudahkan komposit fantom dikeluarkan dari cetakan [32].