

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran plastik merupakan salah satu isu global utama yang memberikan dampak negatif terhadap kesehatan ekosistem karena daya tahannya yang tinggi, sehingga membutuhkan waktu degradasi yang sangat lama, seperti polietilena dan polistirena yang membutuhkan ratusan, bahkan ribuan tahun untuk terurai. Hal ini disebabkan oleh struktur rantai polimernya yang sangat stabil (Hernando et al., 2024) (Lim et al., 2021) (Yong et al., 2024). Produk plastik sekali pakai, seperti bahan kemasan (wadah makanan dan botol PET), merupakan penyumbang utama terhadap masalah polusi plastik (Chaudhary et al., 2024). Pada tahun 2019, diperkirakan mencapai 459,75 juta ton. Angka ini menunjukkan peningkatan 230 kali lipat dibandingkan dengan produksi plastik pertama kali pada tahun 1950 (Balasubramanian et al., 2024). Tempat pembuangan sampah mencemari air tanah, sementara pembakaran plastik melepaskan asap beracun yang membahayakan kesehatan manusia (M. A. Chowdhury et al., 2022b). Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sebagian besar populasi dunia menghirup udara tercemar, yang memicu beragam dampak negatif terhadap kesehatan (Oluwasina et al., 2024). Ketergantungan pada sumber daya yang terbatas dan semakin mahal ini menghadirkan tantangan jangka panjang yang signifikan. (Kadell & Callychurn, 2023a). Beberapa teknologi metode degradasi, seperti pirolisis katalitik, degradasi enzimatis, dan degradasi mikroba, pendekatan ini seringkali membutuhkan katalis yang mahal, kondisi reaksi yang keras, atau lingkungan yang dikontrol dengan ketat, sehingga tidak praktis untuk aplikasi yang meluas. Kebutuhan mendesak akan solusi yang efektif untuk mengatasi krisis polusi plastik mengharuskan pengembangan jenis plastik baru yang lebih ramah lingkungan dan mudah terurai secara hayati (Yu et al., 2024). Oleh karena itu, penggantian plastik konvensional yang tidak dapat terurai dengan material bioplastik yang *biodegradable* telah menjadi suatu keharusan ditinjau dari aspek ekonomi, lingkungan, dan kesehatan manusia. (Ranote et al., 2024). Mengenai polimer alami, telah banyak dilaporkan berbagai alternatif, seperti selulosa, pati, kolagen, dan poliester. Polimer-polimer ini telah banyak digunakan sebagai bahan dasar bioplastik karena sifatnya yang dapat terurai secara hayati dan ramah lingkungan. Salah satu polimer alami yang menjanjikan adalah *Tamarind Seeds Polysaccharides* (TSP), yang merupakan polimer alami yang memiliki sifat biokompatibel dan mudah terurai. Senyawa ini diekstraksi dari endosperma biji asam jawa (Heredia-Guerrero et al., 2023) (Mansingh et al., 2021).

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik berbasis minyak bumi yang sulit terurai, berbagai alternatif ramah lingkungan seperti bioplastik berbasis polimer alami mulai dikembangkan. Pati merupakan kandidat yang sangat baik untuk produksi material berkelanjutan di antara polimer alami, karena sifatnya yang sepenuhnya dapat terurai secara hayati, biayanya rendah, dan sumbernya terbarukan serta untuk bahan kemasan makanan yang secara efektif mengatasi lingkungan saat ini (Imoisili & Jen, 2022) (Alves et al., 2022). Agar suatu bahan dapat dijadikan bioplastik, syarat utamanya adalah harus bersifat biodegradabel, memiliki kandungan polisakarida tinggi (seperti amilosa dan amilopektin), tidak toksik, tersedia dalam jumlah besar, murah, serta dapat diproses

menjadi bentuk film atau cetakan. Pati terdiri dari dua komponen utama: amilosa, polisakarida linier, dan amilopektin, polisakarida bercabang. Struktur kristalografi heliks ganda yang unik memungkinkan pati tahan terhadap kondisi panas dan geser yang tinggi selama pemrosesan (M. A. Chowdhury et al., 2022a). Pati, khususnya, telah menarik perhatian yang signifikan sejak tahun 1970-an (Kowser et al., 2023). Plastik yang dapat terurai secara hayati telah menjadi pendorong utama inovasi berkelanjutan di sektor plastik (Oliveira et al., 2024). Salah satu keunggulan utama pati sebagai polimer kompetitif adalah kemampuannya untuk menjadi termoplastik. Sifat ini tercapai saat pati dipanaskan di hadapan air dan pemlastis (seperti gliserol), yang memungkinkan granula pati mengalami gelatinasi (Alves et al., 2022b). Biopolimer ini dapat diproses menggunakan teknik konvensional, meskipun dengan pertimbangan yang cermat dan optimalisasi parameter pemrosesan seperti suhu, tekanan, dan gaya geser. (Alonso-González et al., 2024). Namun, untuk meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi biaya, penelitian saat ini mulai mengarah pada eksplorasi sumber pati alternatif yang berasal dari limbah pertanian dan tanaman lokal yang belum banyak dimanfaatkan, salah satunya adalah biji asam jawa (*Tamarindus indica*).

Untuk mendukung pengembangan bioplastik berbasis pati, berbagai sumber pati alternatif dari limbah pertanian dan sumber hayati lokal mulai banyak diteliti. Salah satu potensi bahan yang menjanjikan adalah biji asam jawa sebagai bahan utama dalam pembuatan bioplastik adalah karena biji ini memiliki kandungan polisakarida (*Tamarind Seed Polysaccharides/TSP*) yang tinggi, terutama berupa galaktosiloglukan. Polisakarida ini tersusun atas kerangka β -D-(1 $\rightarrow$ 4)-glukan yang mirip selulosa, dengan cabang galaktosa dan *xilosa* membentuk unit pengulangan nonasakarida. Studi terbaru kami memberikan perbaikan pada pemahaman mengenai struktur halus galaktosiloglukan (Sun et al., 2023). Meskipun biji merupakan bagian utama dari buah, seringkali biji tersebut dibuang sebagai limbah (Hemalatha & Parameshwari, 2021). Material ini dapat terurai secara hayati, memiliki sifat antimikroba, dan kemampuan serap yang baik. Kombinasi karakteristik tersebut menjadikannya alternatif ideal dalam industri polimer sintetik (Adair et al., 2023). Berdasarkan sifat-sifat yang menguntungkan ini, asam jawa memiliki potensi yang sangat besar (M. A. Chowdhury et al., 2022c; Ndiaye et al., 2022). Asam Jawa, pohon cemara yang penting secara komersial yang termasuk dalam keluarga *Fabaceae*, dibudidayakan secara luas di Asia, Afrika, dan Amerika (M. A. Chowdhury et al., 2022c). Oleh karena itu, ini bisa menjadi pendekatan yang ramah lingkungan dan ekonomis, yang mampu mengatasi berbagai masalah yang ditimbulkan oleh bahan sintesis, sekaligus sejalan dengan kebijakan lingkungan terkini (Divakaran et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian telah mengeksplorasi sumber pati alami seperti singkong, jagung, kentang, dan pisang sebagai bahan baku bioplastik, masih terdapat tantangan signifikan. Struktur pati yang kaya akan gugus hidroksil menyebabkan sensitivitas tinggi terhadap air, sehingga menurunkan stabilitas dan sifat mekanik bioplastik berbasis pati (Xie et al., 2025). Selain itu, proses biodegradasi bioplastik di lingkungan seperti tanah sangat bergantung pada aktivitas komunitas mikroba, yang bisa terganggu akibat stres lingkungan dan mempengaruhi kualitas tanah serta ekosistem (Prodana et al., 2025). Di sisi lain, pengembangan bioplastik juga dihadapkan pada kendala ekonomi, terutama karena harga pasar bioplastik masih jauh lebih tinggi

dibandingkan plastik konvensional seperti polietilena dan polipropilena (Jia et al., 2025). Oleh karena itu, penerapan prinsip ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah pertanian seperti biji asam jawa menjadi langkah strategis. Selain ramah lingkungan, pendekatan ini juga berkontribusi pada solusi kemasan berkelanjutan, meskipun masih diperlukan optimalisasi proses dan kajian kelayakan komersial di masa depan. (Ajona & Saravanakumar, 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan mengkarakterisasi bioplastik berbasis biji asam jawa sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti plastik konvensional. Komposisi bahan seperti gliserol, vinegar, aquades, dan pati biji asam jawa divariasikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat mekanik dan struktur bioplastik. Uji karakterisasi yang dilakukan meliputi uji tarik, biodegradasi, uji anti bakteri, SEM, FTIR, dan XRD guna mengevaluasi potensi aplikatif material ini dalam kemasan *biodegradable*.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengukur potensi biji asam jawa sebagai bahan baku alami dalam sintesis bioplastik yang ramah lingkungan.
2. Mengidentifikasi karakteristik fisika dan kimia dari bioplastik yang dihasilkan, termasuk morfologi permukaan, ketebalan, dan sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi).
3. Menganalisis kemampuan degradasi bioplastik di lingkungan terbuka sebagai dasar evaluasi kelayakan bioplastik sebagai alternatif pengganti plastik konvensional.

1.3 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Ilmiah

Penelitian memperluas wawasan ilmiah tentang pemanfaatan biji asam jawa sebagai bahan dasar bioplastik, dengan karakterisasi fisika, kimia, dan mekanik untuk memahami hubungan struktur-fungsi material terbarukan.

2. Manfaat Praktis

Hasil studi ini dapat menjadi acuan bagi peneliti dan pelaku industri dalam merancang bioplastik berbasis bahan lokal yang murah dan fungsional, khususnya untuk kebutuhan rumah tangga dan Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM).

3. Manfaat Ekonomi dan Lingkungan

Pemanfaatan limbah biji asam jawa mendukung ekonomi sirkular, menciptakan nilai tambah lokal, serta mengurangi ketergantungan pada plastik berbasis minyak bumi, sehingga ramah lingkungan dan berkontribusi pada produksi berkelanjutan.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 hingga Juli 2025, di Laboratorium Fisika Material dan Energi, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.2 Bahan dan Alat

2.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.)
2. Gliserol
3. Cuka Apel (Vinegar)
4. Air Distilasi

2.2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Oven
2. Sarung tangan
3. *Blender*
4. Ayakan 30 mesh
5. Gelas ukur
6. Gelas kimia
7. Timbangan digital
8. Mistar
9. SEM (*Scanning Electron Microscope*)
10. FTIR (*Fourier Transform Infrared*)
11. XRD (*X-Ray Diffraction*)
12. Cawan petri
13. *Magnetic Stirrer*
14. Spatula
15. Mistar
16. Sensor suhu
17. mikrokontroler
18. Sensor kelembaban
19. Plastik *thinwall* 750 ml
20. Aluminium foil

2.3 Metode Penelitian

2.3.1 Pembuatan Bubuk Biji Asam Jawa

Bioplastik disintesis dengan memvariasikan persentase konstituen yang ditunjukkan pada **Tabel 1**. Asam jawa disiapkan terlebih dahulu, kemudian bijinya dikumpulkan dan dibersihkan. Setelah itu, biji asam jawa direbus selama 30-60 menit untuk melunakkan lapisan luarnya. Setelah direbus, kulit luar biji dikupas hingga bersih. Biji yang sudah

dikupas kemudian dikeringkan dan digiling hingga menjadi bubuk halus. Hasil akhir dari proses ini adalah serbuk biji asam jawa yang siap digunakan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1 (a)**.

Langkah awal ditunjukkan pada **Gambar 1(b)**, yaitu penimbangan sebanyak 13 gram bubuk biji asam jawa. Bubuk ini kemudian dicampurkan dengan 9 ml gliserol (sebagai *plastisizer*), 9 ml cuka (asam asetat sebagai anti bakteri), dan 75 ml aquades (pelarut utama). Campuran ini kemudian dipindahkan ke dalam beaker glass dan dipanaskan sambil diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 7 menit pada suhu 100°C, hingga campuran berubah menjadi larutan kental yang homogen. Setelah proses pemanasan, larutan kental tersebut dituangkan ke dalam cetakan berdiameter 14 cm, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 30°C selama 18 jam untuk menghilangkan kandungan air. Hasil dari proses ini adalah bioplastik sintesis berbentuk lingkaran, yang siap untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil akhir dari proses ini adalah plastik yang telah disintesis. Memahami kelarutan polisakarida menjadi sangat penting, mengingat sebagian besar perannya dimainkan dalam larutan akuatik (Cui et al., 2024).

Tabel 1. ID Persentase yang digunakan untuk mensintesis bioplastik.

ID Sampel	Cuka apel (ml)	Gliserol (ml)	Bubuk biji jawa (gram)
S1	9	9	13
S2	9	9	10



Gambar 1. Metodologi (a) Serbuk biji asam jawa (b) Plastik sintesis.

2.4 Pengamatan dan Pengukuran

2.4.1 Uji Kekuatan Tarik Bioplastik

Uji tarik yang dilakukan pada sampel mengacu pada standar ASTM D882 (Kadell & Callychurn, 2023b) Sifat mekanik strip bioplastik dengan dimensi 2 cm x m telah diuji (Yang et al., 2024).

2.4.2 Uji Biodegradasi

Sebuah studi degradasi yang dilakukan selama 217 hari membandingkan perilaku *Polybutylene Adipate Terephthalate* (PBAT) merupakan polimer berbasis fosil yang 100% dapat terurai secara hayati dan *Polyvinyl Chloride* (PVC) merupakan polimer berbasis fosil konvensional yang direndam dalam air laut. Hasilnya menunjukkan bahwa permukaan PBAT menunjukkan degradasi yang cepat, ditandai dengan terbentuknya kekasaran permukaan, erosi, dan pengembangan rongga yang menjebak partikel kecil yang terdiri dari berbagai ion anorganik. Sebaliknya, tidak ada perubahan signifikan yang diamati pada permukaan lembaran PVC dalam jangka waktu yang sama, dengan perubahan yang nyata baru terlihat setelah 371 hari (Venâncio et al., 2022). Penilaian biodegradasi mencakup dua fase yang berbeda: pengujian degradasi di air laut dan pengujian degradasi di tanah kompos. Sangat penting untuk menyadari bahwa keberadaan bioplastik di lingkungan laut dapat berdampak buruk bagi kehidupan laut dengan mengubah sifat fisik dan kimiawi air di sekitarnya secara signifikan. Untuk menilai sifat biodegradasi mereka, bioplastik fabrikasi menjalani serangkaian uji karakterisasi. Sampel bioplastik berukuran 2 cm × 2 cm digunakan dalam pengujian ini. Metode evaluasi utama dilakukan dengan memantau penurunan berat seiring waktu. Untuk menilai biodegradasi, sampel ditimbang secara berkala dengan interval tiga hari. Setelah setiap penimbangan, sampel dikembalikan dengan hati-hati ke lingkungan tanah. Proses ini diulangi selama periode 9 hari, dengan pengukuran berat yang dicatat pada 3, 6, dan 9 hari, sehingga memungkinkan untuk mengamati potensi penurunan berat badan yang mengindikasikan adanya biodegradasi (Nyerere et al., 2024):

$$\text{Biodegradasi (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

di sini, W1 = Berat awal sampel bioplastik (gram), W2 = Berat akhir sampel bioplastik (gram)

2.4.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakteristik mikrostruktur bioplastik diselidiki dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), model TM4000, yang beroperasi pada tegangan akselerasi 15 kV. Mikrograf SEM membantu menganalisis morfologi permukaan film dan secara visual memeriksa homogenitas dan integritas komponen (Shanmathy et al., 2021a).

2.4.4 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk menganalisis struktur kimia dari film bioplastik yang tidak diplastisasi dan yang diplastisasi. Spektrum FTIR diperoleh dalam rentang bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ hingga 400 cm⁻¹, dengan resolusi 4 cm⁻¹. Untuk setiap spektrum, 24 pemindaian kumulatif direkam (Nigam et al., 2021).

2.4.5 Uji Anti Bakteri

Sifat antimikroba dari bahan bioplastik yang dihasilkan dikarakterisasi mengikuti standar ASTM E2149-20 terhadap *Escherichia coli*, yang merupakan bakteri Gram

negatif (M. A. Chowdhury et al., 2022c). *Escherichia coli* (*E. coli*) merupakan anggota dari keluarga besar bakteri *koliform* (Florido-Moreno et al., 2025).

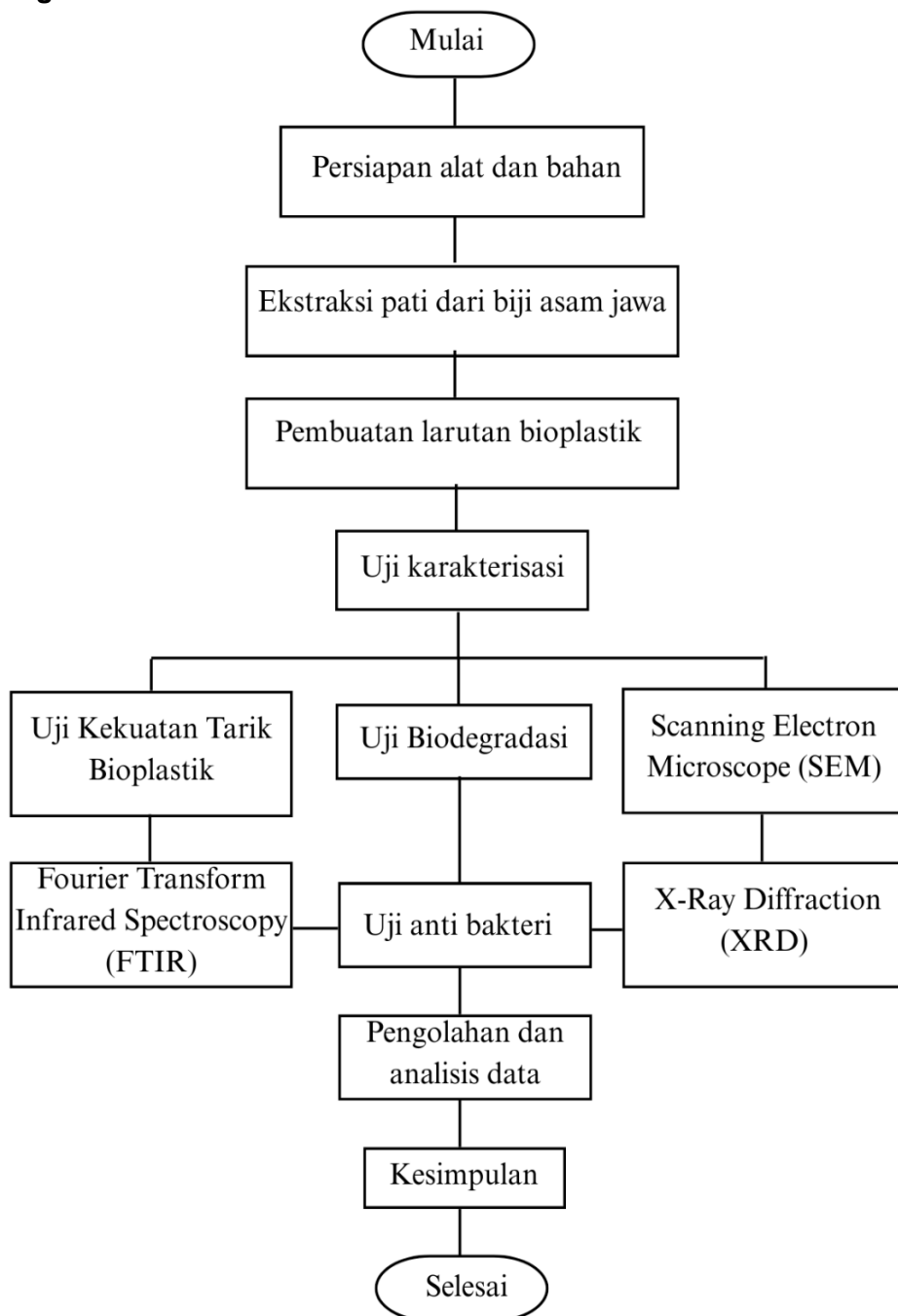
2.4.6 X-Ray Diffraction (XRD)

Analisis difraktogram XRD dari sampel dilakukan dengan menggunakan difraktometer sinar-X. Pengoperasian instrumen ini menggunakan arus 40 mA dan tegangan 40 kV. Data pola difraksi diambil pada rentang sudut 2θ dari 5° hingga 60° dengan *step size* $0,02^\circ$. (Yang et al., 2022). Ukuran kristal (D) bioplastik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Debye-Scherrer*: (Mathew et al., 2021):

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

Di mana D adalah ukuran kristalit rata-rata dari partikel (nm), K – adalah konstanta *Debye-Scherrer* (0,94), λ – adalah panjang gelombang radiasi $\text{CuK}\alpha$ (0,154 nm), β adalah lebar penuh setengah maksimum (FWHM) dari puncak, θ adalah sudut *Bragg*.

2.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian