BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah plastik telah menjadi isu lingkungan global yang semakin mengkhawatirkan dalam beberapa dekade terakhir. Berdasarkan laporan *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2022), produksi plastik global telah melampaui 400 juta ton per tahun dan diproyeksikan terus meningkat apabila tidak dilakukan intervensi signifikan melalui inovasi material maupun kebijakan pengelolaan limbah. Plastik konvensional berbasis petrokimia memiliki struktur polimer yang stabil dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga dapat bertahan di lingkungan selama ratusan tahun dan berkontribusi terhadap pencemaran tanah maupun perairan. Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2024) menunjukkan bahwa timbulan sampah nasional mencapai lebih dari 35 juta ton per tahun, dengan plastik menyumbang sekitar 18–20% dari total tersebut. Kondisi ini menunjukkan urgensi pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Dalam perspektif Teknik Material, peningkatan sifat mekanik biopolimer dapat dilakukan melalui pendekatan komposit dengan penambahan material penguat *(reinforcement)*. Nanoselulosa muncul sebagai kandidat potensial karena memiliki struktur kristalin tinggi, luas permukaan besar, serta modulus elastisitas yang dapat mencapai 100–150 GPa (Moon et al., 2020; Klemm et al., 2021). Habibi et al. (2020) menjelaskan bahwa ukuran nano pada selulosa memungkinkan terjadinya interaksi antarmuka yang lebih efektif antara matriks dan filler, sehingga meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastisitas film komposit.

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi biomassa yang melimpah, khususnya dari industri kelapa sawit. Limbah biomassa kelapa sawit, termasuk pelepah, mengandung selulosa dalam jumlah signifikan dan berpotensi sebagai sumber bahan baku nanoselulosa (Sulaiman et al., 2022). Penelitian oleh Nazir et al. (2021) menunjukkan bahwa biomassa sawit dapat diolah menjadi selulosa

nanofiber dengan sifat mekanik yang menjanjikan.

Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada tandan kosong kelapa sawit, sedangkan pemanfaatan pelepah kelapa sawit sebagai sumber nanoselulosa untuk aplikasi film *degradable* masih relatif terbatas. Abdul Khalil et al. (2021) menekankan pentingnya valorizasi biomassa sawit Selain itu, beberapa penelitian mengenai film *degradable* yang diperkuat nanoselulosa menunjukkan peningkatan signifikan pada *tensile strength* dan *barrier properties* (Fortunati et al., 2024; Rhim et al., 2023). Namun, hubungan antara karakteristik struktur nanoselulosa yang berasal dari pelepah sawit dengan performa mekanik film *degradable* masih memerlukan kajian lebih mendalam. indonesia merupakan produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Industri ini menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah sangat besar, termasuk tandan kosong, serat, cangkang, dan pelepah. Biomassa pelepah sawit dihasilkan secara rutin melalui proses pemangkasan tanaman selama masa produksi.

Menurut Abdul Khalil et al. (2021), biomassa kelapa sawit memiliki potensi besar untuk valorizasi menjadi produk bernilai tambah tinggi, termasuk nanoselulosa. Pelepah sawit mengandung selulosa sekitar 35–45%, hemiselulosa, dan lignin (Sulaiman et al., 2022). Kandungan selulosa yang tinggi menjadikannya kandidat ideal sebagai bahan baku produksi nanoselulosa. Dalam produksi nanoselulosa dari biomassa lignoselulosa seperti pelepah kelapa sawit, metode yang paling umum digunakan adalah hidrolisis asam, khususnya menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Proses ini bertujuan untuk menghilangkan bagian amorf dari struktur selulosa, sehingga menyisakan domain kristalin berukuran nano yang dikenal sebagai *cellulose nanocrystals* (CNC).

Nanoselulosa adalah material berukuran nano yang terbuat dari selulosa, berdiameter 1-100 nm dengan bentuk memanjang 500-2000 nm yang luas permukannya dan jumlah gugus hidroksilnya tinggi (Ningtyas, dkk, 2020). Salah satu metode yang umum digunakan adalah hidrolisis asam sulfat, yang mampu menghilangkan bagian amorf selulosa dan menghasilkan selulosa nanokristal (Cellulose Nanocrystals/CNC). Metode ini menghasilkan partikel dengan kristalinitas tinggi serta memiliki gugus sulfat ester pada permukaan yang

meningkatkan stabilitas dispersi dalam air. Penelitian oleh Habibi et al. (2010) menunjukkan bahwa nanoselulosa hasil hidrolisis asam memiliki sifat mekanik yang sangat baik, luas permukaan tinggi, serta bersifat biodegradable dan biokompatibel.

Dalam proses sintesis nanoselulosa melalui metode hidrolisis asam, pengendalian parameter reaksi menjadi aspek yang sangat krusial karena secara langsung mempengaruhi karakteristik struktur dan kualitas nanoselulosa yang dihasilkan. Salah satu parameter utama adalah konsentrasi asam yang digunakan. Konsentrasi asam yang terlalu rendah dapat menyebabkan proses hidrolisis tidak berlangsung secara optimal sehingga bagian amorf selulosa tidak sepenuhnya terdegradasi, yang berakibat pada rendahnya derajat kristalinitas. Sebaliknya, penggunaan konsentrasi asam yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan degradasi berlebihan pada domain kristalin, sehingga terjadi pemendekan rantai polimer, penurunan rendemen, serta berkurangnya stabilitas termal nanoselulosa. Selain konsentrasi asam, waktu hidrolisis juga memiliki peranan penting dalam menentukan ukuran dan morfologi partikel nanoselulosa.

Waktu reaksi yang terlalu singkat dapat menghasilkan partikel dengan ukuran lebih besar dan kristalinitas yang belum maksimal, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan depolimerisasi berlebihan dan menurunkan panjang kristal, yang pada akhirnya mempengaruhi sifat mekanik material ketika diaplikasikan dalam bentuk film komposit. Temperatur reaksi turut mempengaruhi laju hidrolisis, di mana peningkatan temperatur dapat mempercepat reaksi namun juga meningkatkan risiko degradasi struktur jika tidak dikontrol dengan baik.

Selain itu, rasio antara bahan baku dan larutan asam menentukan efisiensi penetrasi asam ke dalam struktur serat selulosa, yang berpengaruh terhadap homogenitas proses hidrolisis dan distribusi ukuran partikel nano. Sebagian besar penelitian nanoselulosa berbasis kelapa sawit masih berfokus pada tandan kosong atau serat sawit. Kajian yang secara spesifik memanfaatkan pelepah kelapa sawit sebagai sumber nanoselulosa untuk aplikasi film degradable masih terbatas. Selain itu, hubungan antara parameter sintesis, struktur kristal, morfologi nano, dan performa mekanik film belum banyak dikaji secara komprensif.

Oleh karena itu, penelitian mengenai "Sintesis dan karakterisasi nanoselulosa dari limbah pelepah kelapa sawit serta aplikasinya pada film degradable" menjadi penting untuk dikembangkan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat terhadap pelepah karakterisasi nanoselulosa kelapa sawit untuk film degradable ?
2. Bagaimana pengaruh variasi suhu hidrolisis terhadap karakteristik nanoselulosa pelepah kelapa sawit untuk aplikasi film degradable?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat dan suhu hidrolisis terhadap *yield* nanoselulosa yang dihasilkan.
2. Menentukan pengaruh variasi konsentrasi asam sulfat terhadap karakteristik nanoselulosa pelepah kelapa sawit berdasarkan hasil analisa gugus fungsi menggunakan FTIR.
3. Menentukan karakteristik film degradable berbasis PVA dan nanoselulosa dari limbah pelepah kelapa sawit.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku material ramah lingkungan.
2. Mendukung pengembangan film degradable sebagai pengganti plastik konvensional.
3. Mendukung pemanfaatan limbah pelepah kelapa sawit menjadi material bernilai tambah dalam kerangka rekayasa material berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan nanoselulosa dilakukan dari limbah pelepah kelapa sawit melalui

tahapan perlakuan kimia yang meliputi proses hidrolisis larutan asam sulfat.

2. Nanoselulosa limbah pelepah kelapa sawit menggunakan variasi konsentrasi H_2SO_4 (30%, 35%, 40%, 45%, 50%) dan suhu reaksi hidrolisis (45^0C, 50^0C, 55^0C) .
3. Karakteristik nanoselulosa berdasrkan hasil uji tarik, SEM, FTIR, uji biodegradabilitas.
4. Film degradable berbasis PVA dengan bahan penguat *(reinforcement)* Nanoselulosa limbah pelepah kelapa sawit.