

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik sintetik merupakan bahan hasil reaksi polimerisasi dari monomer sejenis yang membentuk rantai panjang elastis. Plastik yang dimanfaatkan sebagai kemasan makanan berasal dari minyak bumi dan gas alam yang terpolimerisasi. Umumnya jenis plastik saat ini seperti *polyvinyl chloride* (PVC), *polyamide* (PA), *polyethylene* (PE), *polyethylene tereftalat* (PET), dan *polyvinyl acetate* (PVA) dibuat dari polimer sintetik (Yupa *et al.*, 2021). Sifat plastik ini mengandung zat aditif yang dapat diserap ke dalam bahan makanan yang dikemas serta dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Salah satu solusi untuk mengurangi permasalahan plastik adalah dengan mengembangkan kemasan ramah lingkungan seperti bioplastik.

Bioplastik adalah bahan pengemas dari bahan organik yang berasal dari alam dan memiliki kemiripan dengan plastik berbahan sintetik. Bioplastik berperan dalam mengatasi penggunaan plastik sekali pakai yang berbahan dasar polimer sintetik (Sulistyo *et al.*, 2023). Bioplastik merupakan plastik *biodegradable* yang tersusun dari biopolimer dan mampu terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme. Biopolimer sangat menarik untuk digunakan sebagai film dan membran karena banyak keunggulannya, seperti biodegradabilitas, tidak beracun, dan ketersediaan tinggi (Grzybek *et al.*, 2024). Biopolimer yang berasal dari polisakarida seperti selulosa dan turunannya, pati, kitosan, alginat, pektin, pululan, karagenan dan *polyvinyl lactic acid* (PLA) secara bertahap mengambil peran sebagai pengganti film berbahan baku sintetik.

Biopolimer utama yang digunakan sebagai bahan baku bioplastik yaitu pati. Pati merupakan bagian dari matriks bioplastik yang harus ada karena kemampuannya membentuk film polimer melalui interaksi antar molekul hidrogen (Saputri *et al.*, 2024). Pati terdiri dari dua jenis polisakarida utama, yaitu amilosa dan

amilopektin. Amilosa yang bersifat linear memungkinkan terbentuknya jaringan polimer yang lebih kuat, sementara amilopektin yang bercabang memberikan fleksibilitas pada material (Gamage *et al.*, 2024). Namun, tanpa modifikasi tambahan, pati memiliki sifat rapuh dan hidrofobik yang rendah, sehingga memerlukan agen penguat dan *plasticizer* untuk meningkatkan performanya.

Selulosa merupakan salah satu agen penguat yang potensial dalam formulasi bioplastik. Selulosa merupakan biopolimer dengan keberadaan yang melimpah yang mewakili sekitar 10^9 hingga $1,5 \times 10^{12}$ ton dari total produk biomassa tahunan (Masruchin *et al.*, 2020). Selulosa dapat digunakan sebagai sediaan material yang bersifat terbarukan (*renewable*) sehingga dapat menjamin pasokan bahan baku dan tidak bergantung pada bahan baku fosil (Fatriasari *et al.*, 2019). Selulosa dapat diperoleh dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan proses enzimatik.

Proses enzimatik melibatkan proses fermentasi menggunakan bakteri menghasilkan selulosa yang disebut selulosa bakteri. Salah satu proses enzimatik tersebut yaitu pada proses pembuatan teh kombucha. Kultur pada pembuatan teh kombucha merupakan sekumpulan mikroba yang dapat menghasilkan pelikel selulosa dengan sebutan SCOBY (*Symbiotic Colony of Bacteria and Yeasts*). Pelikel SCOBY memiliki karakteristik yang menjanjikan, yaitu jaringan nanopori 3D yang unik dan canggih dengan kristalinitas tinggi, tingkat polimerisasi tinggi, kapasitas kandungan air tinggi, permeabilitas terhadap cairan dan gas yang tinggi, kemurnian yang tinggi, biokompatibilitas yang baik, tidak beracun dan mudah terurai secara hayati (Faria *et al.*, 2022).

Pelikel SCOBY merupakan hasil samping dari metabolisme bakteri asam asetat, seperti *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Gluconacetobacter*, dan *Komagataeibacter* (Wang *et al.*, 2022). Sel bakteri asam asetat yang tumbuh dan berkembang biak dalam suatu medium menghasilkan serat selulosa dengan tebal sekitar 1,5 nm

dan panjang sekitar 9 nm. Serat saling terkait satu sama lain, dan setelah beberapa hari dikultur, mereka menciptakan lapisan (membran) bioselulosa yang rapat dan terhidrasi dengan kuat (Kołaczowska *et al.*, 2019).

Komagataeibacter (K.) *xylinus* merupakan salah satu spesies bakteri asam asetat pada kultur kombucha yang paling banyak dipelajari karena kemampuannya menghasilkan selulosa bakteri dalam jumlah relatif besar dari berbagai tempat dan berbagai sumber karbon dan nitrogen (Yang *et al.*, 2024). Bakteri ini tumbuh optimal pada suhu 20°C dan 30°C selama satu minggu fermentasi (De Filippis *et al.*, 2018). Pada kedua suhu tersebut, konsentrasi atau rendemen yang dihasilkan terus meningkat hingga fermentasi selama 21 hari dan mendominasi kelimpahannya hingga 90% dari populasi bakteri kombucha pada suhu pertumbuhan tersebut (Coelho *et al.*, 2020).

Kebutuhan sumber karbon dan nitrogen juga mempengaruhi rendemen SCOBY yang dihasilkan selama proses fermentasi oleh kultur kombucha. Penggunaan sumber karbon berbiaya rendah seperti limbah industri pertanian menjadikan produksi selulosa bakteri ini lebih hemat dan ramah lingkungan. Pengembangan strategi pemanfaatan limbah secara berkelanjutan sangat penting untuk aplikasi di industri. Metode ini tidak hanya mengurangi biaya produksi, tetapi juga menciptakan produk bernilai tinggi, memenuhi persyaratan produksi berkelanjutan dan perlindungan lingkungan (Xu *et al.*, 2024).

Limbah cair sagu yang merupakan limbah agroindustri, masih mengandung karbohidrat yang tinggi dan bersifat asam sehingga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai media fermentasi kultur kombucha. Limbah cair sagu yang dihasilkan dari proses pengolahan industri pati sagu memiliki kandungan organik yang tinggi dengan rasio karbon:nitrogen sebesar 105:0,12 (Nururrahmah, 2021). Pada proses memproduksi sagu, terutama proses pencucian membutuhkan banyak air. Sebanyak 20.000 liter

air dihasilkan dari pengolahan 1 ton pati sagu dan 94% air tersebut menjadi limbah cair, sehingga setiap tahun sebesar 6,8 juta m³ limbah cair tersebut mencemari perairan (Syarif *et al.*, 2019). Namun, limbah industri merupakan substrat pertumbuhan bakteri yang kompleks, tidak terdefinisi, dan tidak stabil sehingga menyebabkan sifat selulosa bakteri yang tidak konsisten (Yang *et al.*, 2024).

Penambahan nutrisi eksternal diperlukan untuk mengatasi selulosa bakteri yang tidak konsisten. Limbah padat teh yang merupakan limbah agroindustri, masih mengandung senyawa fenolik dan nitrogen, berpotensi digunakan sebagai pengaya nutrisi bagi pertumbuhan mikroba pembentuk selulosa bakteri agar lebih stabil. Limbah padat teh juga mengandung protein kasar, lemak, abu, air, serat kasar, hemiselulosa, polifenol, dan asam amino bebas (Babu *et al.*, 2022). Pada limbah daun teh hitam dan teh hijau masih mengandung *galocatechin* (GC), *epicatechin* (EC), *epicatechingallate* (ECG), *epigallocatechin* (EGC), *epigallocatechin gallate* (EGCG) dan asam galat (Balci-Torun *et al.*, 2021). Komposisi tersebut berperan penting dalam pembentukan selulosa bakteri selama proses fermentasi kombucha dengan membantu mengatur pH lingkungan fermentasi, mendorong simbiosis kultur bakteri dan ragi, serta menghambat pertumbuhan polutan (Vera-Guerrero *et al.*, 2025). Total polifenol dan kafein pada kombucha dengan penambahan residu teh hijau secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan residu teh hitam dan tanpa penambahan residu (Zhou *et al.*, 2022). Penggunaan limbah teh untuk fermentasi kombucha tidak hanya dapat mengurangi permasalahan lingkungan, tetapi juga berdampak pada industri teh.

Beberapa penelitian terdahulu telah menggunakan limbah cair sebagai media fermentasi selulosa bakteri, seperti limbah cair sagu dan limbah cair tahu. Namun, belum banyak penelitian yang mengkaji kombinasi limbah cair sagu dengan limbah padat teh

dalam sistem fermentasi kombucha. Berdasarkan hasil penelitian Yanti *et al.* (2017), telah dilakukan produksi selulosa bakteri dari *Acetobacter xylinum* LKN6 dengan media limbah cair sagu. Selama 14 hari fermentasi menghasilkan rendemen selulosa bakteri tertinggi yaitu 62,73%. Pada penelitian Tenriawaru *et al.* (2017), menunjukkan bahwa selulosa bakteri yang dihasilkan oleh *Acetobacter xylinum* pada media limbah cair sagu selama 14 hari fermentasi memiliki berat basah 176,6 g dan berat kering 2,4 g. Pada penelitian Nurika *et al.* (2019), penambahan sukrosa hingga 12% pada fermentasi kombucha limbah cair tahu memberikan pengaruh tertinggi terhadap rendemen selulosa yang dihasilkan yaitu 6,64%. Selain itu, pada penelitian Ummyati *et al.* (2024) tentang fermentasi kombucha teh hijau (*nata de ocha*) dengan penambahan gula 15% dan lama fermentasi 21 hari memberikan pengaruh pada nilai rendemen hanya 5,72%. Pada penelitian lainnya oleh Balasubramanian & Praharaj (2023) menyatakan bahwa jumlah teh yang optimal ditambahkan adalah 10 g/L. Penambahan teh yang terlalu banyak akan menghambat pertumbuhan mikroba dan menghasilkan SCOBY dengan kualitas yang rendah, sedangkan jika terlalu sedikit akan mengurangi pembentukan SCOBY yang optimal (Sharma & Bhardwaj, 2019).

Sifat fisik dari selulosa bakteri memiliki banyak keunggulan, diantaranya yaitu memiliki kemurnian, kristalinitas, kekuatan mekanik, dan porositas yang tinggi, struktur nanofibril yang unik, serta kompatibilitas biologis yang baik dan mudah terdegradasi (Elfiana *et al.*, 2018). Selain selulosa bakteri, kitosan juga dapat digunakan sebagai agen penguat dalam bioplastik. Kitosan merupakan polisakarida yang diperoleh dari kitin dan memiliki sifat tidak beracun, biodegradabilitas dan biokompatibilitas yang tinggi, antimikroba, dapat dikonsumsi, mampu membentuk film yang kuat, serta dapat meningkatkan kekuatan mekanik (Stefanowska *et al.*, 2024).

Mekanisme kitosan dalam bioplastik berkaitan dengan kemampuannya membentuk interaksi ionik dan ikatan hidrogen dengan pati, sehingga meningkatkan daya mekanik serta ketahanan terhadap kelembaban (Deng *et al.*, 2020). Kitosan juga mampu membentuk jaringan polimer yang lebih kompak dan stabil, sehingga bioplastik yang dihasilkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap lingkungan eksternal. Berdasarkan penelitian Ardyansa *et al.* (2022) pada pembuatan bioplastik dengan penambahan 5,5 gram kitosan, 11 gram selulosa bakteri, dan 1,5 mL gliserol diperoleh bioplastik terbaik dengan karakteristik kuat tarik 9,665 Mpa, elongasi 31,3%, dan kelarutan dalam air 17,9%. Kombinasi selulosa bakteri dan kitosan dalam bioplastik berbasis pati diharapkan dapat menghasilkan material dengan karakteristik yang lebih unggul dibandingkan penggunaan pati murni. Untuk meningkatkan kestabilan dan homogenitas bioplastik, *carboxymethyl cellulose* (CMC) perlu ditambahkan sebagai bahan pengisi.

CMC memiliki peran penting dalam meningkatkan sifat mekanik dan kestabilan struktur bioplastik. Sebagai derivat selulosa yang larut dalam air, CMC mampu meningkatkan viskositas larutan pati, yang membantu dalam distribusi bahan secara merata dalam matriks bioplastik (Putranti & Nugraheni, 2023). Selain itu, CMC dapat berinteraksi dengan rantai pati melalui ikatan hidrogen, membentuk jaringan polimer yang lebih stabil dan kohesif. Efek ini tidak hanya meningkatkan daya tahan mekanik bioplastik, tetapi juga mengurangi kerapuhan serta meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban, sehingga memperpanjang umur pakai material bioplastik (Ihsan & Ratnawulan, 2024).

Bioplastik yang terbuat dari polisakarida membutuhkan tambahan bahan pemlastis (*plasticizer*) untuk menghasilkan plastik yang lebih elastis dan tahan terhadap air. Penambahan *plasticizer* dapat mengubah karakteristik suatu material, seperti melemahkan

kekuatan polimer dan meningkatkan fleksibilitas serta ekstensibilitas polimer (Putra *et al.*, 2019). Penambahan *plasticizer* pada pembuatan bioplastik dapat mengurangi kerapuhan yang disebabkan tekanan antar molekul yang tinggi (Permata *et al.*, 2024). Salah satu bahan *plasticizer* yang banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik adalah gliserol (Elfiana *et al.*, 2018).

Gliserol merupakan bahan *plasticizer* yang aman, murah dan dapat dimakan. Gliserol bekerja dengan cara menurunkan gaya antarmolekul dalam matriks polimer pati, meningkatkan mobilitas rantai polimer, dan mengurangi kristalinitas pati (Masruchin *et al.*, 2021). Selain itu, gliserol juga membantu mempertahankan kadar air dalam bioplastik, yang berkontribusi terhadap peningkatan fleksibilitas dan mengurangi kemungkinan retak selama penyimpanan atau penggunaan. Gliserol memiliki kelebihan sebagai *plasticizer* yaitu dapat memberikan fleksibilitas pada struktur bioplastik yang dibentuk (Permata *et al.*, 2024).

Dengan mempertimbangkan berbagai komponen tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi selulosa bakteri dari fermentasi kombucha berbasis limbah agroindustri kemudian mengaplikasikannya dalam formulasi bioplastik. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material bioplastik sebagai solusi terhadap permasalahan limbah plastik konvensional dan produksi selulosa bakteri dengan memanfaatkan limbah agroindustri juga diharapkan dapat menekan biaya produksi selulosa bakteri yang tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi limbah padat teh pada fermentasi kombucha berbasis limbah cair sagu terhadap produksi selulosa bakteri yang dihasilkan.

2. Bagaimana pengaruh volume limbah cair sagu dan konsentrasi gula pada fermentasi kombucha berbasis limbah padat teh terhadap produksi selulosa bakteri yang dihasilkan.
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh variasi limbah padat teh pada fermentasi kombucha berbasis limbah cair sagu terhadap produksi selulosa bakteri yang dihasilkan.
2. Mengkaji pengaruh volume limbah cair sagu dan konsentrasi sukrosa pada fermentasi kombucha berbasis limbah padat teh terhadap produksi selulosa bakteri yang dihasilkan.
3. Mengkaji pengaruh selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

1.4 Manfaat Penelitian

Apabila tujuan diatas tercapai, maka akan diperoleh manfaat, diantaranya sebagai berikut:

1. Meningkatkan nilai guna dari limbah padat teh dan limbah cair sagu.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pemilihan formulasi optimum dalam memproduksi selulosa bakteri dari fermentasi kombucha berbasis limbah padat teh dan limbah cair sagu.
3. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan informasi terkait formulasi optimum dalam pembuatan bioplastik berbahan dasar selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini terbagi menjadi 3 bagian yang berbeda sesuai dengan tahapan penelitian, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian tahap I
 - H_0 : Variasi limbah padat teh tidak berpengaruh nyata terhadap karakteristik selulosa bakteri kombucha yang dihasilkan.
 - H_1 : Variasi limbah padat teh berpengaruh nyata terhadap karakteristik selulosa bakteri kombucha yang dihasilkan.
2. Penelitian tahap II
 - H_0 : Variasi volume limbah cair sagu dan konsentrasi sukrosa tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik selulosa bakteri kombucha yang dihasilkan.
 - H_1 : Variasi volume limbah cair sagu dan konsentrasi sukrosa berpengaruh signifikan terhadap karakteristik selulosa bakteri kombucha yang dihasilkan.
3. Penelitian tahap III
 - H_{0A} : Variasi selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.
 - H_{1A} : Variasi selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol berpengaruh signifikan terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.
 - H_{0B} : Interaksi antara selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.
 - H_{1B} : Interaksi antara selulosa bakteri, kitosan, dan gliserol berpengaruh signifikan terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.