

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Plastik merupakan material sintetis berbasis polimer yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan modern. Keunggulannya yang mencakup bobot ringan, kekuatan mekanik tinggi, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap degradasi menjadikannya sangat diminati dalam berbagai aplikasi, mulai dari kemasan makanan hingga peralatan rumah tangga (Sharma dkk., 2021). Meskipun demikian, sebagian besar plastik konvensional seperti PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, dan PS diproduksi dari sumber daya tak terbarukan seperti minyak bumi dan tidak dapat terurai secara hayati (Rosenboom dkk., 2022). Hal ini menyebabkan akumulasi limbah plastik yang signifikan di lingkungan.

Peningkatan konsumsi plastik global turut memicu lonjakan timbunan sampah. *Organisation for Economic Co-operation and Development* OECD (2022) melaporkan bahwa produksi plastik dunia mencapai 460 juta ton pada 2019 dan diproyeksikan melonjak lebih dari dua kali lipat pada 2060 jika tidak diimbangi oleh kebijakan intervensi. Di tingkat nasional, data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2024) menunjukkan bahwa dari 33,79 juta ton sampah domestik, sekitar 19,64% merupakan sampah plastik. Sebagian besar limbah ini berakhir mencemari lingkungan akuatik melalui sistem sungai, sehingga memperkuat urgensi pengembangan material alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Ancaman dari plastik tidak hanya bersifat ekologis, tetapi juga menyentuh aspek kesehatan manusia. Mikroplastik berukuran mikroskopis yang dihasilkan dari degradasi plastik telah terdeteksi dalam darah manusia, dengan jalur masuk melalui konsumsi makanan, air, maupun inhalasi udara (Weligama Thuppahige & Karim, 2022). Estimasi dari Senathirajah et al. (2021) menunjukkan bahwa asupan mikroplastik dapat mencapai 5 gram per minggu. Meskipun dampak fisiologis jangka panjangnya masih diteliti, temuan-temuan ini mendorong pencarian solusi material pengganti yang aman dan berkelanjutan.

Sebagai respons terhadap persoalan tersebut, bioplastik dikembangkan dari bahan terbarukan dengan kemampuan untuk terurai secara alami. Namun, performa bioplastik masih belum sebanding dengan plastik konvensional, khususnya dalam hal kekuatan mekanik, sensitivitas terhadap kelembapan, dan kestabilan selama penyimpanan. Kondisi ini menjadi tantangan tersendiri bagi pengemasan komoditas hortikultura segar yang sangat rentan terhadap kerusakan pascapanen. Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk mengevaluasi sifat fisik, mekanik, hidrofobik, dan kimia dari sistem film bioplastik secara kuantitatif.

Strategi formulasi yang digunakan dalam penelitian ini mengadopsi pendekatan multilapis yang memungkinkan pemanfaatan keunggulan spesifik dari masing-masing polimer. Lapisan pertama terdiri atas sistem kitosan-PVA yang ditaut silang oleh STPP, sedangkan lapisan kedua tersusun atas sistem alginat-gliserol dengan penambahan kalsium asetat. Konfigurasi berlapis ini dirancang untuk membagi fungsi secara selektif, di mana lapisan dalam memiliki fleksibilitas tinggi dan lapisan luar difokuskan pada ketahanan terhadap air. Formulasi ini

sekaligus memungkinkan penerapan agen pengikat silang secara terpisah sesuai karakteristik kimia masing-masing matriks (Giz dkk., 2020).

Pemilihan bahan penyusun didasarkan pada aspek fungsional dan keberlanjutan. PVA dipadukan dengan kitosan untuk memperbaiki fleksibilitas dan kekuatan tarik film, meskipun PVA bukan polimer alami. Namun, sifat biodegradabilitasnya dalam kondisi lingkungan tertentu menjadikan material ini tetap layak dalam sistem kemasan pangan yang ramah lingkungan (Oun dkk., 2022). Sementara itu, gliserol digunakan sebagai pemlastis karena kemampuannya membentuk ikatan hidrogen dengan gugus hidroksil dalam rantai polimer, meningkatkan homogenitas dan kelenturan struktur film. Efektivitas gliserol juga terbukti lebih unggul dibandingkan sorbitol atau PEG (Ortega-Toro dkk., 2014).

Kalsium asetat dalam penelitian ini disintesis dari limbah cangkang telur melalui proses kalsinasi yang dilanjutkan dengan reaksi menggunakan asam asetat. Pemanfaatan limbah ini merepresentasikan prinsip ekonomi sirkular dan pendekatan kimia hijau (Strelec dkk., 2023). Dibandingkan dengan CaCl_2 , kalsium asetat memiliki sifat tidak higroskopis ($\text{POD} \geq 95\%$) sehingga lebih stabil untuk aplikasi kemasan (Schlegel dkk., 2002). Di sisi lain, STPP dipilih sebagai agen silang karena aman untuk pangan, tidak toksik, dan lebih ekonomis dibandingkan glutaraldehida (Danait-Nabar dkk., 2025).

Peran masing-masing agen pengikat silang memperkuat integritas film. STPP membentuk ikatan ionik dengan gugus amina pada kitosan, menghasilkan struktur yang lebih padat dan tahan terhadap oksidasi. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan STPP dapat meningkatkan ketebalan film, kekuatan tarik, kestabilan

termal, serta aktivitas antioksidan (Bhatia dkk., 2024). Sementara itu, ion Ca^{2+} dari kalsium asetat berikatan dengan gugus karboksilat pada alginat melalui mekanisme *egg-box* dan turut berinteraksi dengan gugus $-\text{NH}_2$ pada kitosan, membentuk jaringan yang stabil secara kimia dan mekanik (Rinaudo dkk., 2006).

Efektivitas pendekatan multilapis ini juga diperkuat oleh temuan sebelumnya. Nunes de Lima Moreira et al. (2023) menunjukkan bahwa ion Ca^{2+} dari cangkang telur memperkuat struktur film pektin-pati melalui pembentukan jaringan ionik homogen. Madhu et al. (2025) melaporkan bahwa kalsium dari cangkang telur meningkatkan kestabilan mekanik dan resistensi degradasi pada film berbasis pati. Bukti ini mendukung relevansi pendekatan multilapis dalam sistem kemasan berbasis polimer alami.

Aplikasi utama dari sistem ini ditujukan untuk pengemasan tomat, komoditas hortikultura yang sangat rentan terhadap kerusakan akibat kandungan air tinggi dan laju respirasi cepat. *Food and Agriculture Organization* (FAO, 2019) mencatat bahwa sekitar 14% produksi pangan global hilang pada tahap pascapanen, dengan hortikultura sebagai penyumbang terbesar. FAO juga menegaskan pentingnya pengemasan yang fungsional dan berkelanjutan, terutama di negara berkembang yang menghadapi tantangan infrastruktur logistik.

Dengan mempertimbangkan seluruh aspek teknis, fungsional, dan aplikatif tersebut, formulasi bioplastik multilapis dalam penelitian ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan film konvensional sekaligus mendorong inovasi material berbasis bio. Pendekatan ini konsisten dengan arah pengembangan teknologi berkelanjutan dan ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan

mengkarakterisasi film multilapis berbasis kitosan-PVA-STPP dan alginat-gliserol-kalsium asetat, serta mengevaluasi sifat fisik, mekanik, dan hidrofobik guna menilai potensi aplikasinya sebagai bahan pengemas buah segar yang aman dan ramah lingkungan.

I.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mensintesis film bioplastik multilapis berbasis kitosan-PVA-STPP dan alginat-gliserol-kalsium asetat dari cangkang telur sebagai agen pengikat silang.
2. Menganalisis karakteristik fisikokimia dan biodegradabilitas film bioplastik yang dihasilkan.
3. Mengevaluasi efektivitas film sebagai kemasan aktif untuk buah tomat, khususnya dalam daya simpan dan penghalang kelembapan.