

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri dan konsumsi global selama beberapa dekade terakhir telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam produksi plastik konvensional, terutama untuk sektor kemasan. Material berbasis polimer sintesis seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), dan polietilen tereftalat (PET) digunakan secara luas karena harganya murah, fleksibel, dan memiliki daya tahan tinggi. Namun, sebagian besar plastik tersebut bersifat *non-biodegradable* dan sulit terurai secara alami di lingkungan. *United Nations Environment Programme* (2021) menyatakan bahwa lebih dari 300 juta ton limbah plastik dihasilkan setiap tahunnya, dan sekitar 60%-nya berakhir di tempat pembuangan akhir atau lingkungan terbuka tanpa perlakuan lanjutan. Akumulasi plastik ini menyebabkan pencemaran tanah dan perairan, serta berdampak langsung terhadap organisme hidup di ekosistem.

Situasi tersebut mendorong pengembangan bahan alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan *biodegradable*. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penggunaan film biopolimer berbasis sumber daya alam terbarukan. Polimer seperti kitosan, pati jagung, dan polivinil alkohol (PVA) menjadi kandidat utama dalam pembuatan film karena memiliki sifat-sifat seperti daya urai hayati, ketersediaan yang melimpah, dan kemampuan membentuk lapisan tipis (*film-*

forming ability). Kitosan memiliki sifat antimikroba dan permeabilitas oksigen yang rendah, pati berperan sebagai pengisi struktural yang ekonomis, sementara PVA memberikan fleksibilitas dan kestabilan terhadap kelembaban. Kombinasi dari ketiganya menghasilkan struktur matriks film yang dapat dimodifikasi lebih lanjut sesuai kebutuhan fungsional.

Biopolimer alami memiliki keterbatasan, terutama dalam hal kekuatan mekanik, stabilitas terhadap air, dan efektivitas antimikroba yang konsisten. Kemampuan film kemasan untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen merupakan aspek krusial dalam menjamin keamanan pangan. Kontaminasi mikroba, khususnya oleh *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, dan *Staphylococcus aureus*, tidak hanya mempercepat proses degradasi mutu pangan, tetapi juga menjadi faktor utama penyebab penyakit bawaan makanan (*foodborne diseases*). Data dari *World Health Organization* (WHO, 2020) menunjukkan bahwa sekitar 600 juta orang di seluruh dunia terpapar penyakit akibat pangan yang terkontaminasi setiap tahunnya, dan 420.000 di antaranya berakhir pada kematian. Secara spesifik, *Salmonella spp.* dilaporkan menyebabkan lebih dari 78 juta kasus diare global setiap tahun (Kirk *et al.*, 2015), sementara *E. coli* patogen dapat menimbulkan sindrom hemolitik uremik yang berpotensi fatal. Kondisi ini menegaskan bahwa intervensi untuk mencegah pertumbuhan mikroba pada kemasan pangan sangat diperlukan.

Berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa pangan tradisional tanpa kemasan, seperti jajanan pasar, sangat rentan terkontaminasi bakteri patogen. Menurut penelitian oleh Nugraha *et al.* (2020), sekitar 70% sampel jajanan pasar yang dianalisis terkontaminasi *Escherichia coli*, yang berkaitan erat dengan praktik higienitas yang buruk. Studi lain oleh Asmarani *et al.* (2018) menemukan bahwa sebagian besar jajanan sekolah mengandung *Staphylococcus aureus*, dengan beberapa di antaranya melebihi ambang batas aman konsumsi. Penelitian oleh Surono *et al.* (2019) juga melaporkan keberadaan *E. coli* pada berbagai kue basah tradisional, sementara Rahmawati *et al.* (2017) menunjukkan bahwa lebih dari 60% daging ayam segar di pasar tradisional terkontaminasi *S. aureus*. Hal ini mengindikasikan bahwa kontaminasi mikrobiologis bukan hanya mempercepat kerusakan produk, tetapi juga menimbulkan bahaya kesehatan bagi konsumen. Oleh karena itu, penggunaan kemasan aktif berbasis biopolimer dengan agen antimikroba menjadi strategi penting untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen, memperpanjang umur simpan, serta meningkatkan keamanan pangan.

Oleh karena itu, penambahan agen antimikroba anorganik ke dalam matriks film telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efektivitasnya sebagai kemasan aktif, khususnya dalam menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada produk pangan atau medis. Dalam upaya meningkatkan fungsi antimikroba ini, penggunaan senyawa logam telah banyak diteliti. Seng (Zn) adalah salah satu logam yang dikenal luas memiliki sifat antimikroba melalui pelepasan ion seng (Zn^{2+}) yang dapat merusak sel bakteri. Efektivitas seng sangat bergantung pada bentuk senyawanya dan laju pelepasan ionnya. Seng oksida (ZnO) adalah kandidat

populer karena sifatnya yang stabil dan pelepasan ionnya yang terkontrol, sehingga dianggap relatif aman untuk aplikasi kemasan makanan. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan pengetahuan mengenai perilaku agen antibakteri berbasis seng lainnya yang memiliki sifat kimia berbeda. Seng klorida (ZnCl_2) merupakan senyawa seng yang sangat mudah larut dan memiliki reaktivitas tinggi. Secara teoretis, sifat ini dapat memberikan efek antibakteri yang lebih kuat dan cepat dibandingkan ZnO , tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko toksisitas jika pelepasan ionnya tidak terkontrol.

Penelitian ini dilakukan melalui sintesis serta karakterisasi film biopolimer dengan penambahan ZnO dan ZnCl_2 untuk mengkaji pengaruh masing-masing senyawa terhadap struktur internal film, aktivitas antibakteri terhadap bakteri Gram positif maupun Gram negatif, serta perubahan sifat fisik seperti kekuatan tarik dan elastisitas. Temuan yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme interaksi senyawa anorganik dengan matriks biopolimer. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan formulasi kemasan aktif berbasis biopolimer yang tidak hanya bersifat *biodegradable*, tetapi juga mampu memberikan fungsi protektif dalam memperpanjang masa simpan produk serta meminimalkan risiko kontaminasi mikroba, sehingga mendukung terciptanya material kemasan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan efektivitas antibakteri antara ZnO dan ZnCl₂ dalam film biopolimer pada konsentrasi yang berbeda (1%, 2%, dan 3%) terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan ZnO dan ZnCl₂ pada variasi konsentrasi (1%, 2%, dan 3%) terhadap karakteristik fisik film biopolimer pada uji kuat tarik?
3. Bagaimana pengaruh penambahan ZnO dan ZnCl₂ pada variasi konsentrasi (1%, 2%, dan 3%) terhadap morfologi film dan kaitannya dengan kinerja antibakteri ZnO dan ZnCl₂ pada film biopolimer?

1.3 Tujuan

1. Membandingkan efektivitas antibakteri ZnO dan ZnCl₂ dalam film biopolimer pada variasi konsentrasi 1%, 2%, dan 3% terhadap bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*.
2. Menganalisis pengaruh penambahan ZnO dan ZnCl₂ pada variasi konsentrasi terhadap karakteristik fisik film pada uji kuat tarik.
3. Menganalisis morfologi permukaan film menggunakan SEM untuk mengidentifikasi korelasi antara struktur film dengan efektivitas antibakteri ZnO dan ZnCl₂.

1.4 Manfaat

1. Menyediakan data komparatif yang empiris mengenai efektivitas antibakteri ZnO dan ZnCl₂ dalam film biopolimer terhadap bakteri Gram-negatif dan Gram- positif.
2. Menyajikan informasi mengenai pengaruh ZnO dan ZnCl₂ terhadap karakteristik fisik film biopolimer pada uji kuat tarik.
3. Menyajikan wawasan mendalam terkait hubungan antara morfologi film biopolimer dengan kinerja antibakteri yang relevan untuk pengembangan film biopolimer yang fungsional.