

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan lingkungan akibat akumulasi limbah plastik konvensional telah menjadi perhatian global yang mendesak. Sejak tahun 1975, produksi plastik berbasis petrokimia seperti polyethylene (PE) dan polypropylene (PP) meningkat drastis hingga mencapai 338 juta ton pada 2019, seiring meningkatnya kebutuhan industri dan konsumsi masyarakat (Islam *et al.*, 2024). Jenis plastik seperti PE & PP bersifat non-biodegradable dan dapat bertahan di lingkungan selama puluhan hingga ratusan tahun, menyebabkan pencemaran jangka panjang. Plastik yang berhasil didaur ulang hanya sekitar 9%, sementara sisanya menumpuk di lingkungan dan terfragmentasi menjadi mikroplastik (< 5 mm) yang berpotensi toksik (Mastrolia *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2024).

Mikroplastik tidak hanya mencemari ekosistem perairan dan tanah, tetapi juga telah ditemukan di dalam tubuh manusia, tumbuhan, dan hewan, serta terbukti dapat menyebabkan gangguan fungsi seluler. Mikroplastik dapat menyerap senyawa berbahaya dan terakumulasi dalam rantai makanan, mengancam kesehatan manusia melalui paparan oral, pernapasan, atau kontak kulit (Ortiz, 2023). Risiko kesehatan yang ditimbulkan mendorong terbentuknya kebijakan pembatasan penggunaan plastik sekali pakai dan meningkatkan kebutuhan akan material alternatif yang lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan.

Kepmenkes No. 1429/MENKES/SK/XII/2006 dan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No. 57/2009 memberikan arahan untuk pengelolaan lingkungan sekolah yang sehat, termasuk pelarangan penggunaan plastik sekali pakai di sekolah demi melindungi kesehatan anak-anak. Surat Edaran Menteri Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi No. 12/2009 juga menegaskan larangan penggunaan plastik sekali pakai di sekolah, menggarisbawahi urgensi penerapan kebijakan ramah lingkungan di lingkungan pendidikan.

Sejak 1960-an, pencarian material pengganti plastik konvensional terus dilakukan untuk mendapatkan alternatif yang lebih ramah lingkungan, baik dalam proses produksi maupun kemampuan terurainya di alam. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah bioplastik berbasis biopolimer yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti alga, selulosa, dan mikroorganisme. Biopolimer memiliki keunggulan berupa kemampuan terdegradasi secara hayati serta kompatibilitas biologis yang tinggi (Ortiz, 2023; Mastrolia *et al.*, 2022). Kombinasi beberapa biopolimer seperti sodium alginat (NaAlg), polyvinyl alcohol (PVA), dan carboxymethyl cellulose (CMC) menunjukkan potensi sebagai bahan dasar film kemasan ramah lingkungan. Sodium alginat merupakan polisakarida alami dari rumput laut yang bersifat biodegradabel, biokompatibel, dan memiliki kemampuan mengenkapsulasi senyawa aktif (Mollah *et al.*, 2025). CMC dan PVA diketahui dapat membentuk film dengan performa mekanik baik dan kemampuan degradasi tinggi

melalui ikatan hidrogen antar gugus polarnya (Hussain *et al.*, 2023; Khoramabadi *et al.*, 2020). Pencampuran sodium alginat, PVA, dan CMC diharapkan menghasilkan film komposit dengan sifat fisik dan fungsional yang lebih stabil dan efisien.

Film diformulasi dari biopolimer yang bersifat *biodegradable* dan ramah lingkungan, menjadikannya kandidat unggul untuk kemasan berkelanjutan. Penggunaan material fungsional tidak hanya menekankan pada kemampuan degradasi di lingkungan, melainkan juga harus mencakup fungsi tambahan yang spesifik, seperti aktivitas antimikroba (Ortiz, 2023). Penambahan agen antimikroba menjadi salah satu pendekatan penting dalam merancang kemasan aktif. Penelitian diawali dengan eksplorasi enam agen antimikroba, yaitu Zinc Oxide (ZnO), Titanium Dioxide (TiO₂), *Precipitated Calcium Carbonate* (CaCO₃), kaolin *clay*, tanah andosol vulkanik, dan asam laurat. Pemilihan keenam bahan mempertimbangkan latar belakangnya sebagai material yang secara ilmiah maupun praktis telah dikenal memiliki potensi antimikroba, baik melalui mekanisme pelepasan ion logam (seperti Zn²⁺ dan Ti⁴⁺), permukaan adsorptif (kaolin dan andosol), maupun sifat biosidal dari senyawa organik (asam laurat) (Fadhilah, 2024; Jannah *et al.*, 2018; Borrelli *et al.*, 2021; Serov *et al.*, 2024; Fallal *et al.*, 2023). Ketersediaan bahan yang tinggi, biaya relatif rendah, dan penggunaan luas di industri seperti kosmetik, farmasi, serta pengemasan menjadikan masing-masing kandidat berpotensi diterapkan sebagai komponen aktif dalam formulasi

film. Evaluasi efektivitas dilakukan melalui uji aktivitas antimikroba terhadap lima mikroorganisme uji, yaitu *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Xanthomonas* sp., dan *Aspergillus niger*. Kelima mikroorganisme dipilih sebagai model representatif berdasarkan keanekaragaman karakteristik biologisnya, mencakup bakteri Gram positif dan Gram negatif, serta kelompok mikroorganisme patogen dan pembusuk yang sering ditemukan dalam konteks kontaminasi pangan. Pemilihan mikroorganisme memungkinkan evaluasi menyeluruh terhadap spektrum aktivitas antimikroba dari masing-masing bahan, yang selanjutnya menjadi dasar dalam seleksi agen aktif terbaik untuk diformulasikan ke dalam film biopolimer (Touaiti *et al.*, 2025; Choi *et al.*, 2022; Hussein, 2022; An *et al.*, 2019; Sharma, 2012).

Karakterisasi film biopolimer dilakukan meliputi sifat fisik (ketebalan dan bobot per luas), sifat mekanik (kuat tarik, elongasi, dan modulus Young), morfologi permukaan (SEM), serta aktivitas antimikroba selagi dalam bentuk emulsi maupun setelah diformulasikan menjadi film padat. Rangkaian uji dirancang untuk mengevaluasi performa fungsional film biopolimer, mencakup aktivitas antimikroba dan karakter fisik-mekanik, guna memperoleh formulasi yang optimal untuk aplikasi potensial di bidang material fungsional berbasis polimer.

1.2. Rumusan Masalah

1. Di antara bahan aditif ZnO, TiO₂, PCC, kaolin, tanah andosol, dan asam laurat, manakah yang menunjukkan aktivitas antimikroba paling efektif?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi bahan aditif antimikroba terpilih terhadap sifat fisik makroskopik dan karakteristik morfologi mikroskopik film biopolimer NaAlg-PVA-CMC?
3. Bagaimana karakteristik mekanik dan aktivitas antimikroba film biopolimer hasil formulasi berdasarkan standar JIS dan CLSI?

1.3. Tujuan

1. Menentukan bahan aditif dengan aktivitas antimikroba terbaik dari bahan aditif ZnO, TiO₂, PCC, kaolin, tanah andosol, dan asam laurat.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi bahan aditif antimikroba terpilih terhadap sifat fisik makroskopik dan karakteristik morfologi mikroskopik film biopolimer NaAlg-PVA-CMC.
3. Mengevaluasi kesesuaian sifat antimikroba dan mekanik film terhadap standar pengujian CLSI dan JIS

1.4. Manfaat

1. Memberikan informasi mengenai potensi aktivitas antimikroba dari bahan aditif anorganik dan organik yang tersedia di laboratorium.
2. Menjadi dasar pengembangan film biopolimer fungsional sebagai kandidat kemasan aktif ramah lingkungan.

3. Memberikan referensi formulasi awal film yang dapat diarahkan untuk aplikasi spesifik melalui penelitian lanjutan.