

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Terbuat dari senyawa kimia kompleks, plastik telah membawa banyak kemudahan dalam kehidupan sehari-hari kita. Misalnya dalam pengangkutan dan penyimpanan produk makanan, penting untuk memastikan bahwa produk tersebut terlindungi dari faktor fisik, kimia, atau mikrobiologi negatif apa pun (Łopusiewicz *et al.*, 2022). Namun, di balik manfaatnya, plastik konvensional juga menjadi sumber masalah lingkungan yang serius. Penelitian yang dilakukan oleh (Anitha *et al.*, 2022) melaporkan bahwa akumulasi plastik di seluruh dunia telah mencapai 347 juta ton pada tahun 2018. Di Indonesia, lebih dari 4,22 juta ton limbah plastik dihasilkan pada tahun 2023, atau 15,3 kg per kapita pada tahun 2024. Dengan 1,848 juta ton limbah plastik yang tidak terkelola dengan baik, Indonesia merupakan negara dengan jumlah limbah plastik yang tidak terkelola dengan baik tertinggi kedelapan di dunia (Switch-Asia eu, 2024). Selain itu, sampah plastik konvensional, termasuk polyester (PET), *high-density polyethylene* (HDPE), dan polistirena (PS), yang mencerminkan penggunaannya yang luas dalam kemasan makanan, cenderung menumpuk di tempat pembuangan akhir, menempati volume yang signifikan dan melepaskan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim (He *et al.*, 2024). Diperkirakan bahwa 30 miliar ton bahan limbah plastik akan dihasilkan pada tahun 2050 (Anitha *et al.*, 2022).

Oleh karena itu, inovasi dalam kemasan luar untuk produk makanan, terutama yang memanfaatkan biomaterial yang aman, harus menjadi prioritas

demi menjaga planet kita tetap bersih. Beberapa polimer alami, termasuk protein, lipid, dan polisakarida, banyak digunakan sebagai bahan pengemas untuk melindungi makanan dari kerusakan mekanis, kimiawi, dan biologis. Polimer ini memiliki kemampuan baik dalam pembentukan lapisan, dapat diperbarui, biokompatibel, dan ramah lingkungan (He *et al.*, 2024). Biopolimer dapat dikategorikan berdasarkan metode fabrikasi dan sumber asalnya. Biopolimer yang diekstraksi dari tumbuhan meliputi pati (amilosa/amilopektin), gom guar, protein kedelai, selulosa, protein termasuk zein jagung, lipid. sedangkan yang diekstraksi dari hewan dan alga/rumput laut meliputi kitin/kitosan, gelatin, agar, alginat, ulvan dan karagenan (Gamage *et al.*, 2024).

Dengan luas 99.093 km², Indonesia adalah negara tropis yang terkenal akan keanekaragaman spesies rumput lautnya. Penelitian (Akrim, 2014) menunjukkan bahwa terdapat 555 jenis rumput laut yang berkembang di perairan Indonesia. (Atmadja dan Prud'homme van Rein, 2014) mencatat 201 spesies yang termasuk dalam 7 ordo, 24 famili, dan 48 genus Chlorophyta (alga hijau), serta 138 spesies dalam 6 ordo, 12 famili, dan 31 genus Ochrophyta (alga coklat). Sementara itu, jumlah spesies Rhodophyta (alga merah) mencapai 452 spesies. Saat ini, meskipun memiliki keragaman spesies, terdapat dua genus yang menjadi barang ekspor utama di Indonesia, yaitu *Kappaphycus* sp. atau *Eucheuma* sp. dan *Gracilaria* sp. Sedangkan kelompok lain seperti *Cladophora*, *Ulva* (Chlorophyta) dan *Padina*,

Sargassum, *Tubinaria* (Chlorophyta) masih jarang dieksplorasi dan dimanfaatkan (Puspita *et al.*, 2020).

Sargassum duplicatum (*S. duplicatum*) merupakan makroalga bentik yang khas menghuni zona dengan kedalaman 0,5-10 meter. Memiliki ciri khas daun lonjong yang bergerigi/bertepi ganda seperti mahkota. Thalus keras, tinggi hingga 1 meter, berbentuk sedikit silindris di cabang kecil. Spesies ini dikenal memiliki potensi ekonomi yang tinggi sebagai sumber pangan, obat-obatan (Ilmi, *et al.*, 2020), dan alginat untuk berbagai aplikasi industri (Sa'diah *et al.*, 2025). Dalam konteks industri, *S. duplicatum* merupakan salah satu rumput laut coklat yang menjadi sumber alginat (Mohan *et al.*, 2024), yaitu polisakarida anionik penyusun utama dinding sel Phaeophyta (Pérez *et al.*, 2016). Alginat tersusun atas unit asam β -D-mannuronat dan asam α -L-guluronat yang dihubungkan bersama dengan proporsi ikatan 1 $\rightarrow$ 4 yang bervariasi (Zhang *et al.*, 2021). Keunggulan *S. duplicatum* adalah kandungan alginatnya yang relatif tinggi (31% dari berat kering) (Sinurat & Rambe, 2020) dibandingkan dengan spesies *Sargassum* lain, seperti *S. polycystum* (11-18%) (Dharmayanti *et al.*, 2020), *S. muticum* (13,57%) (Mazumder *et al.*, 2016), *S. crassifolium* (10,91%) (Sinurat & Marlioni, 2017), *S. latifolium* (17,5%) (Dalal *et al.*, 2021), dan *S. angustifolium* (17%) (Behfar *et al.*, 2022) sehingga menjadikannya kandidat bahan baku potensial untuk produksi bioplastik berbasis alginat.

Pelapis berbahan dasar alginat berhasil diaplikasikan pada banyak produk makanan (Abka-Khajouei *et al.*, 2022), termasuk buah-buahan dan

sayuran (Wang *et al.*, 2025). Namun, film natrium alginat murni masih memiliki kekuatan mekanik dan aktivitas antibakteri yang relatif buruk (Chen *et al.* 2021). Sehingga, banyak strategi telah diadopsi untuk meningkatkan sifat fungsional bahan pengemasan berbasis natrium alginat, yaitu dengan pencampuran dengan polimer lain, seperti poli(vinil alkohol) (PVA), karboksimetil selulosa (CMC) dan penambahan senyawa aktif. Karboksimetil selulosa (CMC), merupakan biopolimer turunan selulosa, tersedia dengan melimpah yang memiliki karakteristik biokompatibilitas, non-toksitas, dan kemampuannya untuk terdegradasi (Bajer & Burkowska-But, 2022). Sementara itu, poli(vinil alkohol) (PVA) adalah polimer hidrofilik yang memiliki sifat fisika yang luar biasa, serta kuat terhadap tarik dan tekan ketika digunakan untuk membuat komposit polimer (Hussain *et al.*, 2023). Hasil yang dilaporkan oleh (Hapsari, 2021), (Yerramathi *et al.*, 2025), (Shan *et al.*, 2023), dan (Chen *et al.*, 2021) kompak menunjukkan film dengan penambahan komposit CMC, PVA, dan bioaktif memiliki sifat kimia, fisik, mekanik, dan penghambatan pertumbuhan bakteri yang lebih baik dibandingkan dengan film natrium alginat murni.

Namun, meskipun natrium alginat menjanjikan sebagai bahan dasar bioplastik, penggunaannya masih menghasilkan limbah residu rumput laut yang belum termanfaatkan optimal. Penelitian (Porse dan Rudolph, 2017), menunjukkan bahwa pada tahun 2015, 236.000 ton berat kering (DW) rumput laut dipanen untuk produksi 24.644 ton alginat. Artinya, sekitar 15% dari bahan baku menghasilkan produk, sementara 85% residu sisanya dibuang

bersama limbah. Hal ini menunjukkan bahwa industri alginat perlu mencari cara untuk memanfaatkan seluruh bagian rumput laut secara lebih efisien, sehingga tidak ada bagian yang terbuang percuma. Baghel *et al.* (2020) mengatakan, biomassa rumput laut alginofit dapat digunakan untuk ekstraksi beberapa komponen biokimia seperti mineral, protein, dan selulosa selain alginat yang mengarah pada pemanfaatan total biomassa yang efektif.

Biomassa *S. duplicatum* yang disebutkan dalam penelitian (Sakti *et al.*, 2024) menunjukkan kadar abu yang cukup tinggi yaitu 39,20 % dari berat kering total, mendefinisikan adanya kandungan meliputi makro dan mikro mineral serta unsur-unsur jejak (Holdt & Kraan, 2011) seperti Ca, P, Mg, K, Na, Cu, Mn, dan Zn (Puri *et al.*, 2024). Kadar abu yang diperoleh memiliki jumlah yang lebih tinggi dari spesies *Sargassum* lain seperti yang disebutkan oleh (Delgado., *et al.*, 2020), diantaranya *S. fluitans* (35,9%), *S. patens* (28,8%), *S. hemiphyllum* (23,3%), *S. pteropleuron* (25,3%), dan *S. horneri* (33,3%). Cabral *et al.*, (2021) dalam penelitiannya menyebutkan makroalga mampu bertahan dalam kondisi lingkungan laut yang ekstrim dengan memproduksi metabolit sekunder khas, seperti flirotanin, protein, dan polisakarida yang komposisinya berbeda dari yang ada pada tumbuhan darat, berfungsi sebagai mekanisme pertahanan terhadap patogen, pengotor, dan herbivora pada rumput laut. Residu yang mengandung senyawa potensial ini dapat dimanfaatkan, salah satunya melalui fermentasi menjadi ekoenzim. Pemanfaatan bahan baku yang tepat untuk produk-produk berharga dapat

berdampak positif dengan meminimalkan pembuangan limbah oleh industri pengolahan rumput laut.

Ekoenzim adalah larutan kompleks yang dihasilkan dari fermentasi limbah dapur segar seperti kulit sayur dan buah (Benny *et al.*, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh (Ningrum *et al.*, 2024) menunjukkan hasil uji yang berisi sampel ekoenzim menunjukkan terbentuknya zona hambat di sekitar cakram kertas, yang mengindikasikan bahwa ekoenzim mempunyai aktivitas antibakteri terhadap *B. subtilis*, *P. acnes*, *S. aureus*, dan *S. epidermidis*. Lebih lanjut, kandungan pada *S. duplicatum* memiliki aktivitas menghambat bakteri patogen pada makanan seperti *S. aureus*, *E. coli*, dan *Salmonella* sp. seperti yang disebutkan oleh (Pramesti *et al.*, 2017), (Widowati *et al.*, (2014), dan (Firmansyah *et al.*, 2016) Tetapi, potensi ekoenzim dari *S. duplicatum* sebagai agen antibakteri yang baik, belum ada laporan tentang bioplastik antibakteri berdasarkan matriks dasar natrium alginat dengan tambahan ekoenzim. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki efek ekoenzim dan penambahan PVA pada sifat antibakteri, fisik, kimia dan mekanik jika dikombinasikan dengan film natrium alginat sebagai kemasan pangan antibakteri ramah lingkungan.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pemanfaatan hasil samping berupa getah dari ekstraksi rumput laut coklat (*S. duplicatum*) dapat diolah melalui fermentasi menjadi ekoenzim yang memiliki aktivitas antibakteri?

2. Bagaimana karakteristik sifat fisik, kimia, mekanik dan antibakteri dari bioplastik berbasis natrium alginat dengan penambahan polyvinyl alkohol (PVA), karboksimetil selulosa (CMC) dan ekoenzim hasil fermentasi getah *S. duplicatum*?

1.3. Tujuan

1. Mengeksplorasi potensi hasil samping (getah) dari ekstraksi *S. duplicatum* sebagai bahan baku ekoenzim dengan aktivitas antibakteri.
2. Menganalisis sifat fisik, kimia, mekanik, dan antibakteri dari bioplastik alginat/PVA/CMC/ekoenzim untuk aplikasi kemasan pangan bioaktif ramah lingkungan.

1.4. Manfaat

1. Menawarkan solusi dalam pengolahan limbah hasil samping industri alginat, sehingga meningkatkan efisiensi pemanfaatan biomassa *S. duplicatum*.
2. Menghasilkan kandidat kemasan pangan ramah lingkungan dengan sifat antibakteri, yang berpotensi menggantikan plastik konvensional berbasis fosil.