



Bioplastik Alginat-Karagenan sebagai Substitusi Material Petrokimia dalam Industri Kemasan

Denny Hendrik Nainggolan ✉

Program Studi Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Serang, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.55497

✉ Corresponding author:

Denny.hendrik@poltek-petrokimia.ac.id

Article Info	Abstrak
Kata kunci: alginat; bioplastik; karagenan; rumput laut; sifat mekanik	Peningkatan limbah plastik berbasis petrokimia mendorong pengembangan bioplastik ramah lingkungan berbasis sumber daya terbarukan. Penelitian ini difokuskan pada pengkajian dampak perbedaan kadar karagenan terhadap karakteristik fisik dan mekanik bioplastik komposit berbasis alginat dan karagenan yang menggunakan gliserol sebagai agen pemlastis. Bahan alginat diperoleh melalui proses ekstraksi rumput laut <i>Sargassum</i> sp., sedangkan karagenan diekstraksi dari <i>Kappaphycus alvarezii</i>. Pembuatan bioplastik dilakukan dengan memvariasikan jumlah karagenan pada rentang 1,5 sampai 3,5 gram, kemudian dilakukan pengujian meliputi kuat tarik, persen pemanjangan, ketebalan film, daya tahan terhadap air, tingkat biodegradabilitas, serta tingkat keburaman. Temuan penelitian mengindikasikan bahwasanya variasi konsentrasi karagenan memberikan pengaruh signifikan terhadap kuat tarik, elongasi, ketebalan, biodegradabilitas, dan keburaman, sementara parameter ketahanan air tidak memperlihatkan perbedaan yang bermakna. Komposisi paling optimal dicapai pada penambahan karagenan sebesar 1,5 gram karena mampu memenuhi persyaratan mutu berdasarkan <i>Japanese Industrial Standard</i> dan SNI 7188.7:2016. Penelitian ini merekomendasikan penambahan bahan lain untuk meningkatkan ketahanan air dan fungsionalitas bioplastik.
Keywords: alginate; bioplastic; carrageenan; mechanical properties; seaweed	Abstract <i>The escalating buildup of petrochemical based plastic waste has intensified efforts to develop sustainable bioplastics derived from renewable materials. Accordingly, this research investigates how variations in carrageenan content influence the physical and mechanical characteristics of alginate carrageenan composite bioplastics formulated with glycerol as a plasticizer. Alginate was extracted from <i>Sargassum</i> sp. and carrageenan from <i>Kappaphycus alvarezii</i>. Bioplastics were prepared using carrageenan concentrations ranging from 1.5 to 3.5 grams and</i>

characterized for tensile strength, elongation, thickness, water resistance, biodegradability, and opacity. The results indicate that carrageenan concentration significantly affects tensile strength, elongation, thickness, biodegradability, and opacity, while water resistance is not significantly influenced. The optimal formulation was obtained at a carrageenan concentration of 1.5 grams, complying with Japanese Industrial Standard and SNI 7188.7:2016. Further studies are recommended to incorporate additional materials to improve water resistance and functional performance of the bioplastics.

1. PENDAHULUAN

Plastik merupakan material yang tersusun atas polimer sintesis bermassa molekul tinggi dan hingga kini tetap mendominasi dan menjadi opsi paling diandalkan di berbagai bidang penggunaan, terutama pada industri pengemasan pangan, karena kemampuannya melindungi produk, meningkatkan daya tahan penyimpanan sekaligus meminimalkan risiko terjadinya kontaminasi dari lingkungan luar (Nasution et al., 2019). Berbagai keunggulan seperti sifat tahan air, ringan, elastis, mudah dibentuk, serta biaya produksi yang relatif rendah menjadikan plastik konvensional sangat dominan dalam kehidupan sehari-hari. Namun demikian, plastik berbasis petrokimia memiliki kelemahan utama berupa ketidakmampuannya terdegradasi melalui proses alamiah dengan laju penguraian yang relatif cepat, sehingga menyebabkan akumulasi limbah yang berdampak serius terhadap lingkungan. Beberapa jenis plastik yang dapat terdegradasi seperti *polyvinyl alcohol*, *poly lactic acid*, *polyhydroxyalkanoate*, *poly β hydroxybutyrate*, dan *polybutylene succinate* telah dikembangkan, tetapi penggunaannya masih terbatas karena harga yang relatif mahal dan keterbatasan bahan baku (Pinpru & Woramongkolchai, 2020).

Permasalahan limbah plastik di Indonesia memperlihatkan tren yang mengkhawatirkan. Data Badan Pusat Statistik mencatat bahwasanya pada tahun 2020 jumlah akumulasi sampah yang dihasilkan secara nasional tercatat mencapai 67,8 juta ton, dengan sekitar 3,2 juta ton di antaranya merupakan sampah plastik. The National Action Partnership melaporkan bahwasanya sekitar 4,8 juta ton limbah plastik berada dalam kondisi pengelolaan yang tidak memadai, sedangkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melaporkan bahwasanya sebesar 43,4 persen atau setara dengan kurang lebih 14,98 juta ton total sampah pada tahun yang sama tidak tertangani secara optimal. Peningkatan timbunan sampah plastik diprediksi mencapai 5 persen per tahun, dan World Economic Forum melaporkan bahwasanya pada tahun 2016 jumlah sampah plastik di laut telah mencapai 150 juta ton. Sampah plastik yang terfragmentasi akan membentuk partikel mikroplastik yang mudah teringesti oleh biota laut dan selanjutnya mengalami akumulasi sepanjang rantai trofik, sehingga menimbulkan risiko ekologis dan kesehatan yang serius (Mardiyana & Kristiningsih, 2020).

Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan material alternatif yang ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan bioplastik. Bioplastik adalah material polimer yang bersifat biodegradable dan mampu mengalami penguraian oleh aktivitas mikroorganisme menjadi senyawa sederhana, antara lain air, karbon dioksida, dan metana, serta memiliki fungsi yang setara dengan plastik konvensional namun dengan waktu degradasi yang jauh lebih singkat (Wahyuningtiyas & Suryanto, 2017). Bioplastik umumnya dibuat dari polimer alami seperti polisakarida, protein, dan lipid, yang memiliki keunggulan berupa efisiensi energi, sifat tidak beracun, pengurangan limbah, serta kontribusi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca (Lim et al., 2021). Meskipun demikian, sebagian besar bioplastik yang telah dikembangkan memanfaatkan bahan pangan seperti singkong, pati garut, jagung, beras, dan kentang, sehingga berpotensi menimbulkan konflik dengan ketahanan pangan apabila diaplikasikan dalam skala besar (Nasution et al., 2019).

Rumput laut menjadi alternatif bahan baku yang menjanjikan dalam pengembangan bioplastik karena tidak bersaing dengan kebutuhan pangan dan memiliki ketersediaan yang melimpah. Polisakarida alami seperti alginat, karagenan, dan agar dapat diisolasi dari rumput laut dan dimanfaatkan sebagai bahan dasar bioplastik (Maryuni et al., 2018). Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki ketersediaan sumber daya rumput laut yang melimpah dan berpotensi sangat besar untuk dimanfaatkan, dengan karakteristik mudah dibudidayakan, bersifat terbarukan, memiliki masa tanam dan panen yang relatif singkat, serta dibudidayakan di laut sehingga tidak memerlukan lahan darat yang luas. Akan tetapi, potensi tersebut sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai sumber bahan baku material ramah lingkungan bernilai tambah tinggi (Lim et al., 2021).

Jenis rumput laut yang banyak dikembangkan sebagai sumber polisakarida untuk bioplastik antara lain *Sargassum* sp. dan *Kappaphycus alvarezii*. Rumput laut coklat *Sargassum* sp. merupakan alginofit penghasil

alginat, sedangkan rumput laut merah *Kappaphycus alvarezii* merupakan sumber utama karagenan tipe kappa. Alginat dan karagenan memiliki potensi besar sebagai bahan pembentuk bioplastik karena bersifat biodegradable, tidak beracun, dan mampu membentuk struktur film yang kuat (Necas & Bartosikova, 2013). Akan tetapi, masing-masing polisakarida memiliki keterbatasan. Bioplastik berbasis alginat umumnya memiliki kuat tarik yang relatif rendah dan resistensi air yang kurang baik akibat banyaknya gugus hidroksil dalam strukturnya, sedangkan bioplastik berbasis karagenan memiliki kecenderungan hidrofilik yang tinggi sehingga mudah mengalami pelarutan dalam air.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi kelemahan tersebut melalui modifikasi formulasi bioplastik. Penggunaan pemlastis seperti gliserol terbukti berpengaruh signifikan terhadap pembentukan matriks polimer dan sifat mekanik bioplastik, karena pemlastis mampu menurunkan gaya antarmolekul dan meningkatkan fleksibilitas material (Maran et al., 2013). Penelitian Rhim (2004) memperlihatkan bahwasanya penggunaan alginat dengan penambahan gliserol serta proses pencelupan menggunakan kalsium klorida mampu meningkatkan ketahanan bioplastik terhadap air melalui pembentukan ikatan silang ionik. Penambahan karagenan dan gliserol juga dilaporkan dapat meningkatkan nilai kuat tarik sekaligus memperbaiki kemampuan bioplastik dalam menghambat penetrasi air (Paula et al., 2015). Studi lain mengombinasikan alginat dengan gliserol dan *crosslinker* kalsium klorida untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan air bioplastik (Langit et al., 2019), penggunaan karagenan dengan CMC dan gliserol (Zaky et al., 2021), serta sistem pati, *polyvinyl alcohol*, dan alginat dengan gliserol sebagai pemlastis (Brandelero et al., 2016).

Pendekatan penggabungan dua jenis hidrokoloid, yaitu alginat dan karagenan, menjadi salah satu strategi yang potensial untuk menghasilkan bioplastik komposit dengan karakteristik yang lebih baik dibandingkan bioplastik berbasis satu polimer alam. Hidrokoloid laut seperti alginat dan karagenan yang larut dalam air mampu membentuk bioplastik dengan sifat mekanik yang lebih baik, namun memerlukan penambahan bahan lain agar menghasilkan film yang stabil dan fungsional (Tavassoli-Kafrani et al., 2016). Kombinasi alginat dan karagenan diharapkan dapat saling melengkapi, di mana karagenan berperan dalam membentuk struktur matriks polimer yang lebih kokoh serta meningkatkan nilai kuat tarik material, sementara alginat berkontribusi terhadap pembentukan gel dan struktur film. Dengan demikian, perancangan bioplastik komposit berbasis alginat dan karagenan dengan penambahan gliserol sebagai pemlastis menjadi aspek krusial yang perlu ditelaah secara lebih mendalam.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada dampak perbedaan tingkat konsentrasi karagenan terhadap karakteristik fisik dan mekanik bioplastik komposit berbasis alginat dan karagenan yang menggunakan gliserol sebagai pemlastis. Temuan penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangan ilmiah yang signifikan bagi pengembangan bioplastik ramah lingkungan yang memanfaatkan sumber daya kelautan, meningkatkan nilai guna rumput laut coklat dan merah, serta menjadi acuan dalam pembuatan bioplastik komposit yang berpotensi menggantikan material petrokimia pada industri kemasan.

2. METODE

Penelitian ini memanfaatkan alginat yang diperoleh melalui proses ekstraksi rumput laut *Sargassum* sp. serta karagenan yang diekstraksi dari *Kappaphycus alvarezii*. Bahan baku rumput laut dalam penelitian ini diperoleh dari wilayah Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Alat yang dipergunakan meliputi peralatan ekstraksi alginat dan karagenan serta peralatan pembuatan dan pengujian bioplastik, antara lain peralatan gelas laboratorium, oven, furnace, hot plate stirrer, viscometer Brookfield, *Texture Analyzer*, *Scanning Electron Microscope* (SEM), instrumen FTIR, serta alat pendukung lainnya. Bahan kimia yang digunakan mencakup HCl, Na₂CO₃, NaOCl, NaOH, KOH, isopropil alkohol, akuades, gliserol sebagai *plasticizer*, serta tanah sebagai media uji biodegradasi.

Metode penelitian terdiri atas dua pendekatan, yaitu metode eksploratif pada tahap ekstraksi alginat dan karagenan serta metode eksperimental laboratorium pada tahap pembuatan dan pengujian bioplastik. Desain acak lengkap dengan lima perlakuan berupa variasi konsentrasi karagenan dalam formulasi bioplastik diterapkan pada rancangan penelitian ini. Rumput laut kering *Sargassum* sp. dan *Kappaphycus alvarezii* sebagai bahan baku terlebih dahulu direndam dalam air tawar selama 24 jam, kemudian dicuci hingga terbebas dari sisa garam dan kotoran, sebelum akhirnya dikeringkan melalui penjemuran di bawah sinar matahari selama kurang lebih tiga hari. Sampel kering selanjutnya dikemas dan disimpan di tempat kering untuk mencegah pertumbuhan jamur.

Prosedur ekstraksi alginat dilakukan dengan merujuk pada Husni et al. (2012). Sebanyak 100 g *Sargassum* sp. kering terlebih dahulu dipra-perlakukan melalui perendaman dalam HCl 1% selama 1 jam, kemudian dibilas

hingga mencapai pH netral. Tahap ekstraksi berikutnya menggunakan larutan Na_2CO_3 3% dengan rasio bahan terhadap pelarut 1:30 (b/v) pada suhu 60–70 °C selama 2 jam. Filtrat hasil penyaringan selanjutnya diberi NaOCl 4% dan dibiarkan selama 30 menit sampai terjadi proses pemucatan. Gel alginat kemudian dibentuk melalui penambahan HCl 5%, lalu dinetralkan dengan NaOH hingga pH kembali netral. Endapan alginat dipresipitasi menggunakan isopropil alkohol dengan perbandingan 1:3 (v/v), kemudian disaring, dikeringkan, dan digiling hingga diperoleh alginat dalam bentuk serbuk.

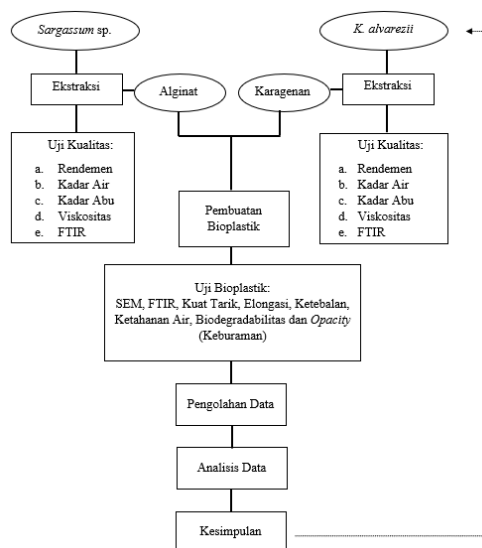
Ekstraksi karagenan dilakukan dengan mengadaptasi metode Distantina et al. (2012) disertai beberapa penyesuaian. Sebanyak 50 g *K. alvarezii* kering terlebih dahulu dihidrasi dalam akuades selama 30 menit, kemudian dialkalisasi menggunakan larutan KOH 5% selama 24 jam. Setelah itu, sampel dicuci hingga bebas sisa alkali, lalu diekstraksi melalui perebusan dalam akuades pada suhu 90 °C selama 3 jam. Filtrat hasil penyaringan dipresipitasi dengan isopropil alkohol sampai terbentuk serat, selanjutnya dikeringkan dan digerus hingga menjadi serbuk karagenan.

Kualitas alginat dan karagenan dianalisis melalui pengujian rendemen, kadar air, kadar abu, dan viskositas. Perhitungan rendemen dilakukan berdasarkan SNI 19 1705 2000 dengan membandingkan berat awal rumput laut kering dan berat akhir hasil ekstraksi. Penetapan kadar air dan kadar abu mengacu pada SNI 01 2354.2 2006 dan SNI 01 2354.1 2006. Pengukuran viskositas mengikuti Widyartini et al. (2016) menggunakan viscometer Brookfield. Karakterisasi gugus fungsi dilakukan dengan FTIR berdasarkan metode Makmur et al. (2021) pada bilangan gelombang 4000–600 cm^{-1} .

Penyusunan bioplastik mengacu pada Ban et al. (2006) dan Zaky et al. (2021) dengan modifikasi. Alginat sebanyak 1 g dilarutkan dalam 100 mL akuades, kemudian ditambahkan karagenan dengan variasi massa 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; dan 3,5 g. Campuran dipanaskan sambil dihomogenkan pada suhu 90 °C, kemudian ditambahkan gliserol sebanyak 10 mL. Larutan dicetak pada plat kaca, dikeringkan dalam oven, dan selanjutnya dilakukan proses *crosslink* menggunakan larutan CaCl_2 2%. Bioplastik yang dihasilkan dikeringkan kembali pada suhu ruang.

Karakteristik bioplastik ditentukan melalui serangkaian uji, meliputi pengamatan morfologi permukaan menggunakan SEM dan analisis gugus fungsi dengan FTIR. Sifat mekanik dievaluasi melalui uji kuat tarik dan elongasi sesuai ASTM D882 dengan rujukan prosedur Rifaldi et al. (2017). Ketebalan diukur mengacu pada Alam et al. (2018). Ketahanan air ditentukan berdasarkan Anggarini et al. (2013), sementara biodegradabilitas diuji menggunakan metode *Soil Burial Test* (Anggarini et al., 2013), serta uji keburaman (*opacity*) mengacu pada Brandelero et al. (2016).

Data hasil pengujian dianalisis secara statistik melalui uji normalitas, uji homogenitas, dan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan, dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Penelitian dilaksanakan pada periode 23 April hingga 6 November 2021. Proses ekstraksi, pembuatan bioplastik, serta sebagian besar pengujian dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro, sedangkan pengujian kadar abu, viskositas, FTIR, SEM, serta uji mekanik dilakukan di laboratorium terkait sesuai dengan jenis pengujiannya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi dan Kualitas Alginat

Alginat hasil ekstraksi dari rumput laut *Sargassum* sp. dianalisis untuk mengetahui kualitasnya melalui parameter rendemen, kadar air, kadar abu, dan viskositas. Hasil ekstraksi memperlihatkan bahwasanya dari 150 gram *Sargassum* sp. kering diperoleh rendemen alginat sebesar 21,53 persen berat kering dengan kadar air 16 persen, kadar abu 35,3 persen, dan viskositas 2,1 cP. Nilai lengkap dari setiap parameter kualitas alginat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Alginat Rumput Laut *Sargassum* sp

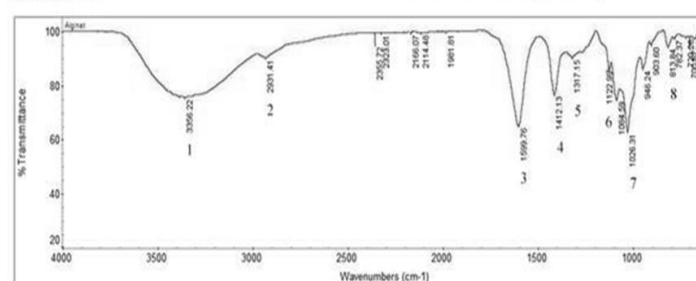
Parameter	Hasil	Standar Mutu*
Rendemen (%)	21,53±1,36	> 18%
Kadar Air (%)	16±0,67	< 15%
Kadar Abu (%)	35,3±1,33	18-27%
Viskositas (cP)	2,10±0,55	10-5000 cP

Keterangan: Data disajikan sebagai nilai rata rata dari tiga ulangan ± standar deviasi

*Sumber: *Food Chemical Codex*, dalam Aristya et al. (2017).

Mengacu pada data pada Tabel 1, rendemen alginat yang diperoleh dinyatakan telah sesuai dan memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan dalam *Food Chemical Codex*, yaitu lebih besar dari 18 persen. Namun demikian, kadar air dan kadar abu alginat masih berada di luar rentang standar yang ditetapkan, sedangkan nilai viskositas alginat berada di bawah kisaran standar mutu yang direkomendasikan.

Karakterisasi gugus fungsi alginat dilakukan menggunakan FTIR dan hasil spektra ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektra FTIR Natrium Alginat Hasil Ekstraksi *Sargassum* sp

Spektra FTIR alginat pada Gambar 2 memperlihatkan puncak serapan pada bilangan gelombang 3356,22 cm^{-1} , 2931,41 cm^{-1} , 1599,76 cm^{-1} , 1412,13 cm^{-1} , 1317,15 cm^{-1} , 1122,99 cm^{-1} , 1026,31 cm^{-1} , dan 813,84 cm^{-1} . Puncak pada bilangan gelombang 3356,22 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi regangan gugus O–H yang memperlihatkan keberadaan ikatan hidrogen. Puncak pada 2931,41 cm^{-1} memperlihatkan vibrasi regangan C–H dari gugus alkana. Serapan pada bilangan gelombang 1599,76 cm^{-1} berkaitan dengan gugus C=O karboksilat, sedangkan puncak pada 1412,13 cm^{-1} dan 1317,15 cm^{-1} memperlihatkan vibrasi C–H bending. Gugus C–O stretching teridentifikasi pada bilangan gelombang 1122,99 cm^{-1} dan 1026,31 cm^{-1} . Sidik jari guluronat yang menjadi karakteristik alginat muncul pada bilangan gelombang 813,84 cm^{-1} , yang sesuai dengan rentang bilangan gelombang guluronat sebagaimana dilaporkan oleh Dihariningrum dan Husni (2018).

Ekstraksi dan Kualitas Karagenan

Karagenan hasil ekstraksi dari rumput laut *Kappaphycus alvarezii* dievaluasi mutunya melalui pengukuran rendemen, kadar air, kadar abu, serta viskositas sebagai indikator kualitas produk ekstraksi. Hasil penelitian memperlihatkan bahwasanya dari 200 gram *K. alvarezii* kering diperoleh rendemen karagenan sebesar 30,3 persen berat kering dengan kadar air 14 persen, kadar abu 21,84 persen, dan viskositas 27,53 cP. Data lengkap kualitas karagenan disajikan pada Tabel 2.

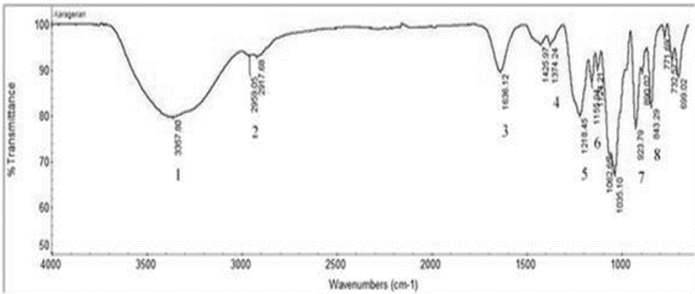
Tabel 2. Kualitas Karagenan Rumput Laut *K. alvarezii*

Parameter	Hasil	Standar Mutu*
Rendemen (%)	30,3±4,72	> 25%

Parameter	Hasil	Standar Mutu*
Kadar Air (%)	14 + 0,11	< 12%
Kadar Abu (%)	21,84 + 1,57	15-40%
Viskositas (cP)	27,53+2,36	>5 cP

Keterangan: Data disajikan sebagai nilai rata rata dari tiga ulangan ± standar deviasi
*Sumber: *Food and Agriculture Organization* (FAO) (2001) dalam Melanie et al. (2017).

Berdasarkan Tabel 2, rendemen dan viskositas karagenan telah sesuai dan memenuhi persyaratan mutu yang ditetapkan oleh FAO, sedangkan kadar abu masih berada dalam kisaran standar. Namun demikian, kadar air karagenan yang diperoleh masih sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan standar yang direkomendasikan. Analisis gugus fungsi karagenan dilakukan menggunakan FTIR dan spektra hasil analisis ditampilkan pada Gambar 3.

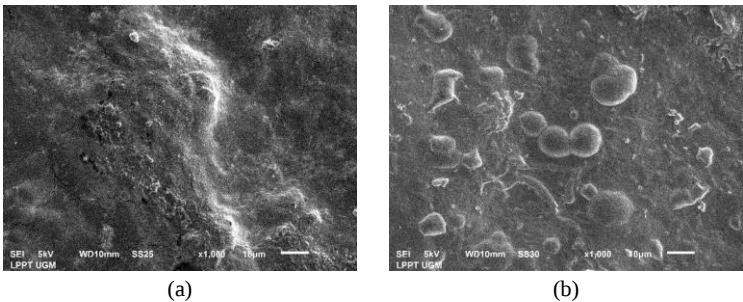


Gambar 3. Spektra FTIR Karagenan hasil ekstraksi *K. alvarezii*

Spektrum FTIR karagenan pada Gambar 3 memperlihatkan pita serapan pada bilangan gelombang 3357,80 cm⁻¹, 2959,05 cm⁻¹, 1636,12 cm⁻¹, 1374,18 cm⁻¹, 1218,45 cm⁻¹, 1155,94 cm⁻¹, 923,79 cm⁻¹, dan 843,29 cm⁻¹. Pita pada 3357,80 cm⁻¹ mengindikasikan vibrasi regangan O–H, sementara pita 2959,05 cm⁻¹ berkaitan dengan regangan C–H. Sinyal pada 1636,12 cm⁻¹ mengonfirmasi keberadaan gugus karbonil C=O, dan pita 1374,18 cm⁻¹ merepresentasikan tekukan (*bending*) C–H. Puncak khas karagenan yang menandai gugus sulfat ester tampak pada 1218,45 cm⁻¹. Selain itu, pita 1155,94 cm⁻¹ berasosiasi dengan gugus eter C–O–C, sedangkan serapan pada 923,79 cm⁻¹ memperlihatkan gugus C–O yang berasal dari 3,6-anhidrogalaktosa. Puncak pada 843,29 cm⁻¹ memperlihatkan keberadaan gugus C–O–SO₄ pada posisi C4 galaktosa, yang mengonfirmasi struktur khas karagenan.

Karakteristik Bioplastik Komposit Alginat Karagenan

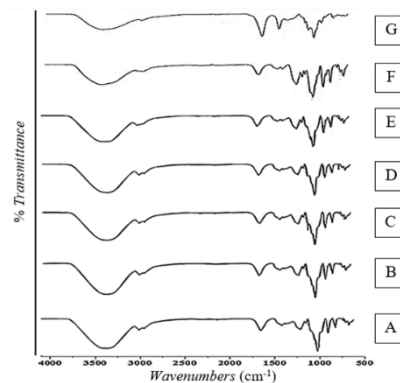
Morfologi permukaan bioplastik komposit alginat karagenan dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscope*. Hasil pengamatan SEM memperlihatkan bahwasanya penambahan karagenan memengaruhi struktur permukaan bioplastik yang dihasilkan. Citra SEM permukaan bioplastik pada perbesaran 1000 kali ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Citra *Scanning Electron Microscope* (SEM) permukaan bioplastik komposit alginat karagenan pada perbesaran 1000× dengan variasi konsentrasi karagenan: (a) 1,5 g; (b) 2,5 g.

Pada Gambar 4 terlihat perbedaan morfologi permukaan antara bioplastik dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram dan 2,5 gram, yang memperlihatkan bahwasanya variasi konsentrasi karagenan berpengaruh terhadap kerapatan dan homogenitas matriks bioplastik.

Analisis gugus fungsi bioplastik komposit alginat karagenan dilakukan menggunakan FTIR dan hasil spektra ditampilkan pada Gambar 5.

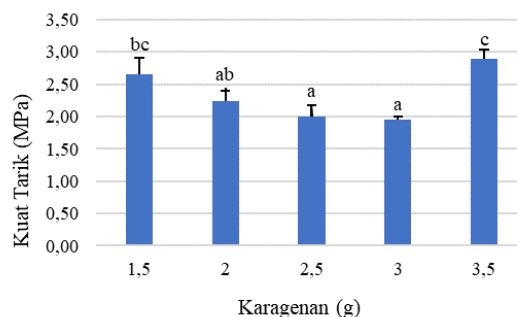


Gambar 5. Spektrum FTIR bioplastik komposit alginat karagenan pada variasi konsentrasi karagenan: (A) 1,5 g; (B) 2,0 g; (C) 2,5 g; (D) 3,0 g; (E) 3,5 g, serta pembandingan (F) karagenan dan (G) alginat

Spektra FTIR bioplastik memperlihatkan puncak serapan pada bilangan gelombang $3317,74\text{ cm}^{-1}$, $2942,03\text{ cm}^{-1}$, $1643,62\text{ cm}^{-1}$, $1419,41\text{ cm}^{-1}$, $1218,45\text{ cm}^{-1}$, $1034,35\text{ cm}^{-1}$, $921,81\text{ cm}^{-1}$, dan $845,58\text{ cm}^{-1}$. Puncak pada bilangan gelombang $3317,74\text{ cm}^{-1}$ memperlihatkan vibrasi regangan O–H, sedangkan puncak pada $2942,03\text{ cm}^{-1}$ berkaitan dengan vibrasi C–H. Gugus C=O teridentifikasi pada bilangan gelombang $1643,62\text{ cm}^{-1}$ dan gugus C–H bending pada $1419,41\text{ cm}^{-1}$. Keberadaan gugus sulfat ester ditunjukkan oleh puncak pada $1218,45\text{ cm}^{-1}$. Gugus C–OH teridentifikasi pada bilangan gelombang $1034,35\text{ cm}^{-1}$, sedangkan gugus C–O dari 3,6 anhidrogalaktosa dan gugus C–O–SO₄ masing masing muncul pada bilangan gelombang $921,81\text{ cm}^{-1}$ dan $845,58\text{ cm}^{-1}$. Hasil ini memperlihatkan adanya interaksi antara alginat dan karagenan dalam matriks bioplastik.

Sifat fisik dan mekanik bioplastik komposit alginat karagenan dipengaruhi oleh penambahan konsentrasi karagenan. Hasil uji statistik memperlihatkan bahwasanya variasi konsentrasi karagenan berpengaruh nyata terhadap kuat tarik, elongasi, ketebalan, biodegradabilitas, dan keburaman dengan nilai p kurang dari 0,05, sementara itu, parameter ketahanan air tidak memperlihatkan pengaruh yang bermakna, ditunjukkan oleh nilai p yang lebih besar dari 0,05. Seluruh variasi penambahan karagenan menghasilkan bioplastik yang telah memenuhi persyaratan sifat fisik dan mekanik menurut *Japanese Industrial Standard* serta SNI 7188.7:2016, namun pada aspek ketahanan air masih belum mencapai ketentuan standar tersebut.

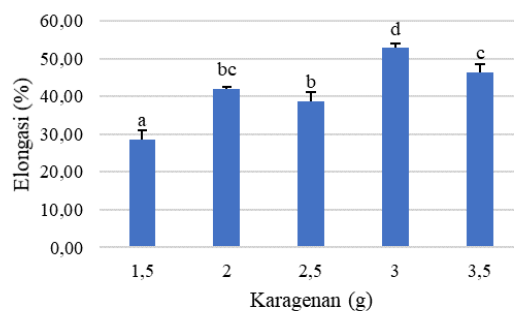
Pengaruh variasi konsentrasi karagenan terhadap nilai kuat tarik bioplastik ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Kuat Tarik Bioplastik

Hasil memperlihatkan bahwa peningkatan konsentrasi karagenan cenderung menurunkan kuat tarik bioplastik, kecuali pada perlakuan 3,5 g yang kembali meningkat. Kuat tarik tertinggi dicapai pada konsentrasi karagenan 3,5 g sebesar $2,89 \pm 0,14\text{ MPa}$, sedangkan nilai terendah terdapat pada konsentrasi 3,0 g sebesar $1,95 \pm 0,05\text{ MPa}$. Pada konsentrasi 1,5 g, kuat tarik bioplastik tercatat $2,65 \pm 0,25\text{ MPa}$; konsentrasi 2,0 g sebesar $2,25 \pm 0,14\text{ MPa}$; dan konsentrasi 2,5 g sebesar $1,99 \pm 0,18\text{ MPa}$. Seluruh nilai kuat tarik tersebut telah melampaui ketentuan *Japanese Industrial Standard* yang mensyaratkan kuat tarik lebih dari 0,3 MPa.

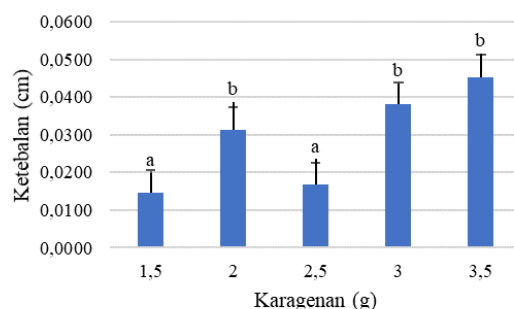
Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap nilai elongasi bioplastik ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Elongasi Bioplastik

Hasil memperlihatkan bahwa variasi konsentrasi karagenan memberikan pengaruh nyata terhadap elongasi bioplastik. Elongasi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 3,0 g sebesar $52,75 \pm 1,23\%$, sedangkan elongasi terendah terjadi pada konsentrasi 1,5 g sebesar $28,67 \pm 2,21\%$. Bioplastik dengan penambahan karagenan 2,0 g memperlihatkan elongasi $41,88 \pm 0,50\%$; konsentrasi 2,5 g sebesar $38,78 \pm 2,30\%$; dan konsentrasi 3,5 g sebesar $46,41 \pm 2,15\%$. Seluruh nilai elongasi tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 7188.7:2016.

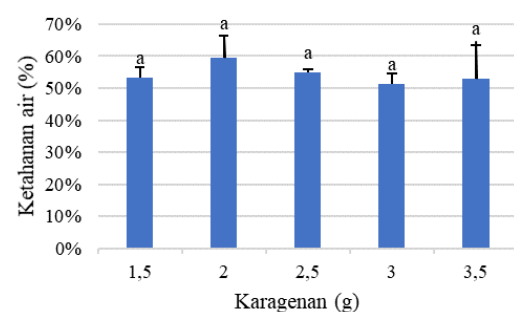
Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap ketebalan bioplastik disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Ketebalan Bioplastik

Hasil memperlihatkan bahwa penambahan karagenan umumnya diikuti oleh peningkatan ketebalan bioplastik, kecuali pada perlakuan 2,5 g yang justru mengalami penurunan. Ketebalan maksimum tercatat pada konsentrasi 3,5 g sebesar $0,0453 \pm 0,008$ cm, sedangkan ketebalan minimum diperoleh pada 1,5 g sebesar $0,0147 \pm 0,003$ cm. Pada konsentrasi 2,0 g, ketebalan bioplastik mencapai $0,0313 \pm 0,004$ cm dan meningkat pada 3,0 g menjadi $0,038 \pm 0,005$ cm, sementara pada 2,5 g ketebalan turun menjadi $0,0167 \pm 0,005$ cm. Bioplastik yang memenuhi persyaratan *Japanese Industrial Standard* dengan ketebalan $< 0,025$ cm hanya ditemukan pada perlakuan 1,5 g dan 2,5 g.

Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap ketahanan air bioplastik ditunjukkan pada Gambar 9.

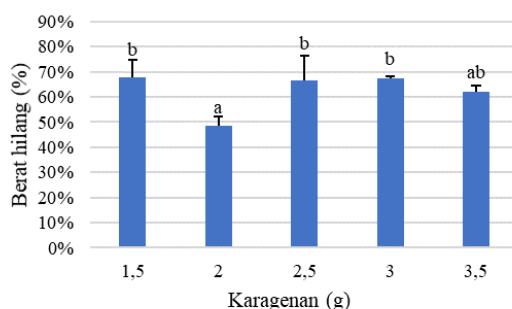


Gambar 9. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Ketahanan Air Bioplastik.

Hasil memperlihatkan bahwa variasi konsentrasi karagenan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ketahanan air bioplastik. Nilai ketahanan air berada pada rentang 51–59%. Nilai tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2,0 g sebesar $59,3 \pm 0,07\%$, sedangkan nilai terendah terdapat pada 3,0 g sebesar $51,3 \pm 0,03\%$.

Perlakuan 1,5 g dan 3,5 g menghasilkan ketahanan air yang relatif serupa, sedangkan pada 2,5 g nilai ketahanan air tercatat $55 \pm 0,01\%$. Seluruh perlakuan masih belum memenuhi ketentuan SNI 7188.7:2016 untuk parameter ketahanan air.

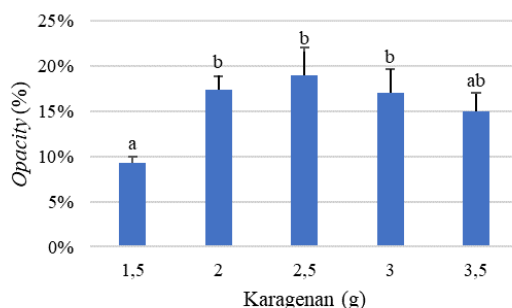
Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap biodegradabilitas bioplastik ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Biodegradasi Bioplastik

Hasil memperlihatkan bahwa konsentrasi karagenan berpengaruh nyata terhadap tingkat biodegradabilitas bioplastik. Biodegradabilitas tertinggi dicapai pada konsentrasi 1,5 g sebesar $67,9 \pm 0,07\%$, sedangkan nilai terendah terjadi pada 2,0 g sebesar $48,3 \pm 0,04\%$. Perlakuan 2,5 g dan 3,0 g memperlihatkan biodegradabilitas yang tetap tinggi, masing-masing $66,8 \pm 0,01\%$ dan $66,8 \pm 0,1\%$, sementara pada 3,5 g diperoleh nilai $62,1 \pm 0,02\%$. Secara umum, seluruh sampel telah memenuhi standar SNI 7188.7:2016 untuk biodegradabilitas, kecuali bioplastik dengan penambahan karagenan 2,0 g.

Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap keburaman bioplastik disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Keburaman Bioplastik

Hasil mengindikasikan bahwa bioplastik yang dihasilkan cenderung memiliki keburaman relatif tinggi, yakni berada pada kisaran 9–19%. Peningkatan konsentrasi karagenan terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap kenaikan nilai keburaman. Nilai keburaman tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2,5 g sebesar $19 \pm 0,03\%$, sedangkan nilai terendah tercatat pada 1,5 g sebesar $9,3 \pm 0,005\%$. Pada konsentrasi 2,0 g, 3,0 g, dan 3,5 g, keburaman masing-masing sebesar $17,3 \pm 0,015\%$, $17 \pm 0,026\%$, dan $15 \pm 0,039\%$.

Kualitas Alginat

Hasil ekstraksi alginat dari *Sargassum* sp. menghasilkan rendemen sebesar $21,53 \pm 1,36$ persen. Besarnya rendemen ini dipengaruhi oleh spesies rumput laut coklat yang digunakan serta tahapan proses ekstraksi yang diterapkan. *Sargassum* sp. diketahui memiliki kandungan alginat relatif tinggi, namun penggunaan metode ekstraksi jalur asam dengan penambahan HCl diduga menyebabkan sebagian fraksi alginat terdispersi menjadi partikel sangat halus sehingga ikut terlewat pada tahap penyaringan. Kendati demikian, nilai rendemen yang diperoleh masih berada di atas ambang yang dipersyaratkan *Food Chemical Codex* yaitu lebih dari 18%. Rendemen yang lebih rendah dibandingkan penelitian sebelumnya memperlihatkan bahwasanya konsentrasi Na_2CO_3 yang relatif kecil membatasi jumlah alginat yang dapat diekstraksi secara optimal, mengingat senyawa tersebut berperan dalam memecah dinding sel rumput laut sehingga alginat dapat keluar secara maksimal.

Kadar air alginat yang dihasilkan sebesar $16 \pm 0,67$ persen belum memenuhi standar *Food Chemical Codex* yang menetapkan batas maksimal 15 persen. Tingginya kadar air ini berkaitan dengan proses pengeringan

menggunakan sinar matahari yang sangat bergantung pada intensitas penyinaran dan variabilitas cuaca. Kandungan air yang tinggi dapat berdampak pada daya simpan dan stabilitas mutu alginat, termasuk memengaruhi tekstur serta penampilan produk akhir. Oleh karena itu, teknik pengeringan yang lebih terkontrol menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas alginat.

Kadar abu alginat sebesar $35,3 \pm 1,33$ persen memperlihatkan nilai yang relatif tinggi dan belum sesuai dengan kisaran standar *Food Chemical Codex*. Tingginya kadar abu ini berkaitan dengan penggunaan larutan basa pada tahap penetralan pH setelah pembentukan asam alginat. Penambahan NaOH dan Na_2CO_3 berkontribusi terhadap peningkatan kandungan mineral garam dalam natrium alginat, sehingga residu anorganik yang tertinggal setelah proses pembakaran menjadi lebih besar. Kadar abu yang tinggi juga berimplikasi pada penurunan mutu alginat, terutama terkait dengan sifat fisik dan reologinya.

Nilai viskositas alginat yang dihasilkan sebesar 2,10 cP berada di bawah standar *Food Chemical Codex*. Rendahnya viskositas ini berkorelasi dengan kadar abu yang tinggi serta kemungkinan terjadinya degradasi rantai polimer alginat selama proses ekstraksi pada suhu relatif tinggi. Pemutusan rantai polimer panjang menjadi rantai yang lebih pendek menyebabkan penurunan kemampuan alginat dalam membentuk larutan kental, sehingga memengaruhi kualitasnya sebagai bahan pembentuk film.

Kualitas Karagenan

Ekstraksi karagenan dari *Kappaphycus alvarezii* menghasilkan rendemen sebesar $30,3 \pm 4,72$ persen. Nilai ini telah memenuhi standar Food and Agriculture Organization yang mensyaratkan rendemen di atas 25 persen. Penggunaan akuades sebagai pelarut ekstraksi berkontribusi terhadap tingginya rendemen karena air suling lebih efektif melarutkan fraksi karagenan dibandingkan larutan alkali.

Kadar air karagenan sebesar $14 \pm 0,11$ persen masih berada di atas standar FAO yang menetapkan batas maksimal 12 persen. Kondisi ini mengindikasikan bahwasanya proses pengeringan belum berlangsung secara optimal. Kadar air yang tinggi dapat memengaruhi sifat fisik karagenan, khususnya tekstur dan penampilannya, sehingga berpotensi menurunkan kualitas bahan baku untuk aplikasi lanjutan.

Kadar abu karagenan yang diperoleh sebesar $21,84 \pm 1,57$ persen telah memenuhi standar FAO. Nilai ini memperlihatkan bahwasanya penggunaan konsentrasi KOH selama proses ekstraksi masih berada pada rentang yang dapat diterima dan tidak menyebabkan akumulasi mineral berlebih. Kadar abu yang relatif moderat mencerminkan keseimbangan antara proses alkalisasi dan pemurnian karagenan.

Viskositas karagenan sebesar 27,53 cP telah melampaui batas minimum viskositas yang ditetapkan FAO. Nilai viskositas ini memperlihatkan kemampuan karagenan dalam membentuk gel yang cukup baik. Faktor suhu dan konsentrasi KOH selama ekstraksi berpengaruh terhadap karakteristik reologi karagenan, termasuk kandungan sulfat yang berperan dalam menentukan kekuatan gel dan viskositas larutan.

Kualitas Bioplastik

Bioplastik yang hanya menggunakan alginat dan gliserol belum mampu membentuk film yang baik, ditandai dengan sifat lengket dan sulit dilepaskan dari cetakan. Hal ini berkaitan dengan rendahnya viskositas alginat hasil ekstraksi. Penambahan karagenan pada konsentrasi rendah juga belum menghasilkan bioplastik dengan karakteristik fisik yang memadai, sehingga diperlukan konsentrasi karagenan yang lebih tinggi untuk membentuk struktur film yang stabil.

Pembentukan bioplastik komposit alginat karagenan bertujuan untuk mengombinasikan keunggulan masing-masing biopolimer. Karagenan berperan dalam meningkatkan kuat tarik, sedangkan alginat meningkatkan ketahanan air melalui proses ikatan silang dengan ion kalsium. Penambahan gliserol sebagai pemlastis diperlukan untuk meningkatkan fleksibilitas bioplastik, karena tanpa pemlastis struktur film cenderung kaku dan rapuh. Proses *crosslink* menggunakan CaCl_2 berfungsi memperkuat jaringan polimer dan mengurangi kelarutan bioplastik dalam air.

Hasil pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope* memperlihatkan bahwasanya seluruh bioplastik memiliki permukaan yang tidak rata, dengan tingkat ketidakteraturan yang meningkat seiring penambahan konsentrasi karagenan. Keberadaan agregat pada permukaan mengindikasikan masih adanya fraksi alginat atau karagenan yang belum terdispersi secara sempurna dalam matriks bioplastik.

Analisis FTIR memperlihatkan bahwasanya spektra bioplastik komposit memiliki kemiripan dengan spektra karagenan, terutama pada pita serapan yang berkaitan dengan gugus hidroksil dan gugus sulfat. Penambahan karagenan meningkatkan intensitas pita O-H, sedangkan variasi konsentrasi karagenan tidak mengubah pola spektra secara signifikan, yang memperlihatkan tidak terbentuknya gugus fungsi baru dalam sistem komposit.

Uji mekanik memperlihatkan bahwa variasi konsentrasi karagenan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tarik maupun elongasi bioplastik. Kuat tarik bioplastik berada pada kisaran 1,95 hingga 2,89 MPa dan telah memenuhi standar Japanese Industrial Standard. Hubungan terbalik antara kuat tarik dan elongasi terlihat jelas, di mana peningkatan fleksibilitas akibat pemlastis gliserol cenderung menurunkan kekuatan tarik. Nilai elongasi sebesar 28,67 hingga 52,75% dan masih berada dalam batas persyaratan SNI 7188.7:2016.

Ketebalan bioplastik meningkat seiring bertambahnya konsentrasi karagenan karena peningkatan jumlah padatan terlarut dalam formulasi. Beberapa perlakuan telah memenuhi ketentuan ketebalan berdasarkan Japanese Industrial Standard. Ketahanan air bioplastik relatif rendah dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh variasi konsentrasi karagenan, karena sifat hidrofilik alginat dan karagenan menyebabkan air mudah berdifusi ke dalam matriks film, meskipun proses *crosslink* dengan CaCl_2 mampu meningkatkan ketahanan air dibandingkan bioplastik alginat tanpa perlakuan ikatan silang.

Biodegradabilitas bioplastik komposit alginat karagenan memperlihatkan nilai yang relatif tinggi, yaitu 48 hingga 68 persen. Konsentrasi karagenan berpengaruh nyata terhadap tingkat biodegradasi, yang dipengaruhi oleh sifat hidrofilik polimer alami serta keberadaan gliserol yang mempercepat penyerapan air dan aktivitas mikroorganisme. Tingginya kehilangan massa memperlihatkan bahwasanya bioplastik ini berpotensi terdegradasi secara alami dalam lingkungan tanah.

Keburaman bioplastik meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi karagenan. Nilai keburaman yang relatif tinggi dipengaruhi oleh warna alami karagenan dan kandungan garam dalam alginat. Bioplastik dengan konsentrasi karagenan terendah memperlihatkan tingkat transparansi terbaik. Variasi keburaman ini mencerminkan distribusi dan interaksi antar komponen dalam matriks bioplastik, yang turut menentukan kualitas visual produk akhir.

4. KESIMPULAN

Penambahan karagenan terbukti memengaruhi kuat tarik, elongasi, ketebalan, biodegradabilitas, dan keburaman bioplastik komposit alginat karagenan, namun tidak berpengaruh terhadap ketahanan air. Formulasi bioplastik dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram memperlihatkan karakteristik terbaik dan telah sesuai ketentuan *Japanese Industrial Standard* serta SNI 7188.7:2016. Penelitian selanjutnya disarankan mengombinasikan alginat karagenan dengan bahan lain seperti *chitosan* untuk meningkatkan ketahanan air serta menambahkan agen antibakteri guna memperbaiki mutu dan fungsionalitas bioplastik.

5. REFERENSI

- Alam, M. N., Kumalasari, Nurmalasari, & Illing, I. (2018). Pengaruh Komposisi Kitosan terhadap Sifat Biodegradasi dan Water Uptake Bioplastik dari Serbuk Tongkol Jagung. *Jurnal Al-Kimia*, 6(1), 24–33.
- Anggarini, F., Latifah, & Miswandi, S. S. (2013). Aplikasi Plasticizer Gliserol pada Pembuatan Plastik Biodegradable dari Biji Nangka. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(3), 173–178.
- Aristya, I. M. T. W., Admadi, B., & Arnata, I. (2017). Karakteristik Mutu dan Rendemen Alginat dari Ekstrak Rumput Laut *Sargassum* sp. Menggunakan Larutan Asam Asetat. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 5(1), 81–92.
- Ban, W., Song, J., Argyropoulos, D. S., & Lucia, L. A. (2006). Improving the Physical and Chemical Functionality of Starch-Derived Films with Biopolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(3), 2542–2548.
- Brandelero, R. P. H., Brandelero, E. M., & Almeida, F. M. D. (2016). Biodegradable Bioplastics of Starch PVOH Alginate in Packaging Systems for Minimally Processed Lettuce. *Ciência e Agrotecnologia*, 40, 510–521.
- Diharningrum, I. M., & Husni, A. (2018). Metode Ekstraksi Jalur Asam dan Kalsium Alginat Berpengaruh pada Mutu Alginat Rumput Laut Cokelat *Sargassum hystrix*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(3), 532–542.
- Distantina, S., Rochmadi, W., & Fahrurrozi, M. (2012). Mekanisme Proses Tahap Ekstraksi Karagenan dari *Eucheuma cottonii* Menggunakan Pelarut Alkali. *Agritech*, 32(4), 397–402.
- Husni, A., Subaryono, Pranoto, Y., Tazwir, & Ustadi. (2012). Pengembangan Metode Ekstraksi Alginat dari Rumput Laut *Sargassum* sp. sebagai Bahan Pengental. *Agritech*, 32(1), 1–8.
- Langit, N. T. P., Ridlo, A., & Subagiyo. (2019). Pengaruh Konsentrasi Alginat dengan Gliserol sebagai Plasticizer terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik. *Journal of Marine Research*, 8(3), 314–321.
- Lim, C., Yusoff, S., Ng, C. G., Lim, P. E., & Ching, Y. C. (2021). Bioplastic Made from Seaweed Polysaccharides with Green Production Methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9, 105895.

- Makmur, C. L., Dewata, I., Alizar, A., & Oktavia, B. (2021). Pengaruh penambahan karagenan terhadap kuat tarik dan biodegradasi edible bioplastik dari pati kulit singkong. *Jurnal Kependudukan Dan Pembangunan Lingkungan*, 2(2), 9–17.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Sridhar, R., & Immanuel, V. P. (2013). Development of Model for Mechanical Properties of Tapioca Starch Based Edible Bioplastics. *Industrial Crops and Products*, 42, 159–168.
- Mardiyana, M., & Kristiningsih, A. (2020). Dampak Pencemaran Mikroplastik di Ekosistem Laut terhadap Zooplankton. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 2(1), 29–36.
- Maryuni, A. E., Mangiwa, S., & Dewi, W. K. (2018). Karakterisasi Bioplastik dari Karagenan Rumput Laut Merah Asal Kabupaten Biak yang Dibuat dengan Metode Blending Menggunakan Pemplastis Sorbitol. *Jurnal Kimia*, 2(1), 1–9.
- Melanie, S., Fransiska, D., Darmawan, M., & Irianto, H. E. (2017). Barrier and Physical Properties of Arrowroot Starch Carrageenan Based Bioplastics. *Journal of Bio-Science*, 25, 45–56.
- Nasution, R. S., Harahap, M. R., & Yahya, H. (2019). Edible Bioplastik dari Karagenan (*Eucheuma cottonii*) Asal Aceh, Indonesia: Karakterisasi Menggunakan FTIR dan SEM. *Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology*, 5(2), 188–197.
- Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: A Review. *Veterinari Medicina*, 58(4), 187–205.
- Paula, G. A., Benevides, N. M., Cunha, A. P., de Oliveira, A. V., Pinto, A. M., Morais, J. P. S., & Azeredo, H. M. (2015). Development and Characterization of Edible Bioplastics from Mixtures of Kappa Carrageenan, Iota Carrageenan, and Alginate. *Food Hydrocolloids*, 47, 140–145.
- Pinpru, N., & Woramongkolchai, S. (2020). Crosslinking Effects on Alginate Carboxymethyl Cellulose Packaging Bioplastic Properties. *Chiang Mai Journal of Science*, 47(4), 712–722.
- Rhim, J. W. (2004). Physical and Mechanical Properties of Water Resistant Sodium Alginate Bioplastics. *LWT -- Food Science and Technology*, 37(3), 323–330.
- Rifaldi, A., Ihsan, H. S., & Bahrudin, B. (2017). Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu dengan Penambahan Filler Clay dan Pemplastis Gliserol. *JOM FTEKNIK*, 4(1), 1–7.
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of edible bioplastics and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137, 360–374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074>
- Wahyuningtiyas, N. E., & Suryanto, H. (2017). Analysis of biodegradation of bioplastics made of cassava starch. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1(1), 24–31.
- Widyartini, D. S., Sulistyani, & Hidayah, H. A. (2016). Kualitas pasta alginat rumput laut \textit{Sargassum polycystum} hasil fermentasi dan konsentrasi larutan berbeda sebagai pengental pencapan batik. *Prosiding Seminar Nasional Dan Call for Papers ``Pengembangan Sumber Daya Perdesaan Dan Kearifan Lokal Berkelanjutan VI``*, 50–58.
- Zaky, M. A., Pramesti, R., & Ridlo, A. (2021). Pengolahan bioplastik dari campuran gliserol, CMC, dan karagenan. *Journal of Marine Research*, 10(3), 321–326.