

Penambahan *Plasticizer* Sorbitol terhadap Karakteristik Bioplastik dari Limbah Dekaragenan *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva, 1966

Esayani Rosadi, Ali Ridlo, Sunaryo*

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail: sunaryo60@lecturer.undip.ac.id

ABSTRAK: Kekhawatiran terhadap sumber daya yang tidak dapat diperbaharui menyebabkan pemanfaatan sumber daya alam terbarukan dan mudah terurai (biodegradable) sebagai bahan baku pembuatan bioplastik menjadi solusi alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi sorbitol terhadap sifat fisik, mekanik (kuat tarik dan elongasi) dan biodegradabilitas bioplastik limbah dekaragenan *Kappaphycus alvarezii*, meliputi: kuat tarik, elongasi, ketebalan, ketahanan air, keburaman, laju transmisi uap air dan biodegradasi. Penelitian menggunakan metode eksperimen laboratorium dan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), terdiri atas 5 konsentrasi sorbitol yang berbeda, yaitu: A(0%), B(3%), C(6%), D(9%) dan E(12%) dengan 3 kali ulangan. Data dianalisis menggunakan analisis varians dan apabila terdapat perbedaan nyata antar perlakuan dilanjutkan dengan uji Tukey. Bioplastik dibuat dengan mencampurkan 50-gram limbah dekaragenan *K. alvarezii* dan 100 mL akuades dipanaskan selama 30 menit suhu 70°C, kemudian ditambahkan sorbitol dengan konsentrasi yang berbeda-beda (0, 3, 6, 9, dan 12%). Campuran limbah *K. alvarezii* dan sorbitol dengan konsentrasi yang berbeda kemudian dilarutkan dengan 100 mL akuades dan dipanaskan selama 30 menit dengan suhu 70°C menggunakan hot plate magnetic stirrer. Bioplastik kemudian dituang pada cetakan dan dikeringkan di oven pada suhu 60°C selama 12 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi sorbitol yang berbeda berpengaruh sangat nyata terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik ($p < 0,01$). Bioplastik terbaik terdapat pada penambahan konsentrasi sorbitol 3% dengan kuat tarik sebesar $2,92 \pm 0,04$ N/mm², elongasi $19,43 \pm 0,94\%$, ketebalan $208,33 \pm 6,43 \mu\text{m}$, ketahanan air $87,52 \pm 0,01\%$, keburaman $27,08 \pm 0,33\%$, laju transmisi uap air $0,0031 \pm 0,0001$ g/mm²/hari dan tingkat biodegradasi sebesar $93,42 \pm 0,01\%$ per hari.

Kata kunci: Sorbitol; Limbah dekaragenan *K. alvarezii*, karakter fisik, karakter mekanik

Addition of Sorbitol Plasticizer to the Bioplastic Characteristics of Decarrageenan Waste *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva, 1966

ABSTRACT: Concerns about non-renewable resources have led to the use of renewable and biodegradable natural resources as raw materials for bioplastics production as an alternative solution. This research aims to determine the effect of sorbitol concentration on the physical, mechanical properties of *Kappaphycus alvarezii* decarrageenan waste bioplastics, including: tensile strength, elongation, thickness, water resistance, opacity, water vapor transmission rate and biodegradation. The research used experimental laboratories method and was designed using a Completely Randomized Design (CRD), consisting of 5 differences sorbitol concentrations, namely: A (0%), B (3%), C (6%), D (9%) and E (12%) with 3 replications. Data were analyzed using one-way anova, furthermore, a Tukey test was carried out if there were significant differences between the treatments. Bioplastics were made by mixing 50 grams of *K. alvarezii* decarrageenan waste and 100 mL of distilled water heated for 30 minutes at 70°C, then adding sorbitol with different concentrations (0, 3, 6, 9, and 12%). The mixture of *K. alvarezii* waste and sorbitol with different concentrations was then dissolved in 100 mL of distilled water and heated for 30 minutes at 70°C using a magnetic stirrer hot plate. The bioplastic is then poured into the mold and dried in the oven at 60°C for 12 hours. The results showed that different concentrations of sorbitol had a very significant effect on the physical and mechanical properties of bioplastics ($p < 0.01$). The best bioplastic is found with the addition of 3% sorbitol concentration with a tensile

strength of 2.92 ± 0.04 N/mm², elongation of $19.43 \pm 0.94\%$, thickness of 208.33 ± 6.43 μm, water resistance of $87.52 \pm 0.01\%$, opacity $27.08 \pm 0.33\%$, water vapor transmission rate 0.0031 ± 0.0001 g/mm²/day and biodegradation rate $93.42 \pm 0.01\%$ per day.

Keywords: Physical Properties, Mechanical Properties, Sorbitol; Waste of Carrageenan *K. alvarezii*.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil sampah terbesar ke dua setelah Cina dengan total 67,8 juta ton sampah pertahun dan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk (Solihin *et al.*, 2019). TKN-PSL (2023) menyatakan bahwa pada tahun 2022 jumlah sampah di Indonesia sebesar 69 juta ton dan 18,2 % dari sejumlah itu atau sekitar 12,54 juta ton berupa sampah plastik. Jenis sampah ini merupakan sampah *nondegradable*, yang berarti akan sulit diuraikan oleh mikroorganisme dekomposer tanah (Aripin *et al.*, 2017). Kekhawatiran terhadap penggunaan kemasan plastik yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan menyebabkan pemanfaatan sumber daya alam terbarukan dan mudah terurai (*biodegradable*) sebagai bahan baku pembuatan bioplastik menjadi solusi alternatif yang baik (FTMM-UNAIR, 2024).

K. alvarezii pertama kali diperkenalkan ke Indonesia pada tahun 1984 sebagai bagian dari upaya diversifikasi industri perikanan budidaya. Spesies ini didatangkan dari Filipina, yang sudah berhasil dibudidayakan (Indriyani *et al.*, 2021). Pemerintah Indonesia melihat potensi budidaya *K. alvarezii* karena memiliki nilai komersial yang tinggi dan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan masyarakat pesisir (Simatupang *et al.*, 2021). Pengenalan *K. alvarezii* ke Indonesia telah memberikan dampak yang signifikan terhadap industri perikanan budidaya dan kehidupan masyarakat pesisir. Budidaya spesies rumput laut ini telah memberikan peluang ekonomi, dan produknya telah digunakan secara luas di berbagai industri di dalam negeri maupun Luar negeri (Ratnawati *et al.*, 2016).

K. alvarezii termasuk ke dalam jenis rumput laut dari kelompok *Rhodophyceae*, mengandung karagenan sebesar 43,3% (Mutalib dan Rahman, 2018). Karagenan secara umum dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri baik industri makanan dan kosmetik. Karagenan juga dapat digunakan sebagai pembentuk film yang sangat baik dan transparan, dimana karagenan banyak digunakan dalam pembuatan bioplastik, *edible film* dan sebagai bahan pencampur dalam pembuatan plastik. Karagenan memiliki sifat sebagai, *thickener* (bahan pengental), *stabilizer* (penstabil), pembentuk gel, pengemulsi dan lain-lain (Abdullah *et al.*, 2021). Karagenan yang dihasilkan dari *K. alvarezii* dimanfaatkan sebagai *emulsifier*, *gelling*, *binding agent*, *thickener*, *stabilizer*, *pharmaceutical*, kosmetik, formulasi *printing* dan tekstil (Azevedo *et al.*, 2015; Ajith *et al.*, 2024).

Iklim tropis Indonesia dengan perairan hangat dan sinar matahari yang cukup menciptakan kondisi yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut (Indriyani *et al.*, 2021). *K. alvarezii* ini tersebar luas dan mudah dibudidayakan di garis pantai. Hampir 7 juta hingga 8 juta ton rumput laut basah diproduksi setiap tahun di seluruh dunia (Sudhakar *et al.*, 2016). Limbah rumput laut dalam jumlah besar dihasilkan secara global setiap tahunnya. Total produksi rumput laut di Indonesia sendiri diperkirakan sekitar 11 juta ton berat basah (KKP & JICA, 2017). Limbah rumput laut ini juga memiliki permintaan yang tinggi. Beberapa industri rumput laut mengubah limbah rumput laut menjadi pupuk kandang melalui metode bioproses (Gelli *et al.*, 2020), sebagai bahan baku bioethanol (Packiyadhas & Shanmugantham, 2020) dan bioplastik (Sudhakar *et al.*, 2021).

Karagenan terutama dari jenis kappa karagenan sudah dikembangkan menjadi bahan pembuatan bioplastik dengan karakteristik dan sifat mekanik yang lebih baik dari biopolimer lain (Abdullah *et al.*, 2021; Adam *et al.*, 2022). Harga yang relatif lebih tinggi menjadi kelemahan dari penggunaan karagenan, hal ini menyebabkan produk bioplastik kurang diminati karena tidak dapat bersaing dengan plastik konvensional. Upaya untuk mengatasi hal tersebut dikembangkan bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii*. Sisa ekstraksi karagenan masih didapatkan limbah

yang mengandung kurang lebih 61,24-71,38 % selulosa (Fitriani *et al.*, 2007). Keuntungan dari menggunakan limbah ekstraksi rumput laut sebagai bahan bioplastik adalah mampu menghasilkan dalam jumlah banyak, harga yang relatif murah, bersifat non toksik, serta dapat menghasilkan bioplastik yang menyerupai plastik konvensional (Sedayu *et al.*, 2018; Sedayu *et al.*, 2020).

Bioplastik adalah plastik yang dapat terurai secara hayati dan terbuat dari pati, lignin, dan selulosa (Setiawan *et al.*, 2021). Bioplastik dengan bahan baku karagenan banyak ditemukan, namun memiliki harga yang tergolong mahal sehingga kurang ekonomis. Oleh karena itu dalam penelitian ini dicoba atasi dengan memanfaatkan limbah dekaragenan rumput laut penghasil karagenan. Limbah dekaragenan rumput laut *K. alvarezii* mengandung polimer selulosa yang dapat digunakan dalam produksi bioplastik. Hampir setengah dari limbah yang dihasilkan di Indonesia mengandung sekitar 50% selulosa yang dapat dimanfaatkan secara produktif (Rhein-Knudsen *et al.*, 2015). Selulosa menjadi salah satu bahan yang paling diminati dari berbagai bahan mentah yang telah disediakan oleh alam untuk keperluan industri. Pemakaian limbah dekaragenan *K. alvarezii* dan penambahan *plasticizer* sorbitol dalam penelitian ini diharapkan dapat menekan biaya produksi dari bioplastik mengingat limbah rumput laut tersebar diberbagai tempat dan harga sorbitol yang tergolong ekonomis. Bioplastik yang terbuat dari selulosa cenderung mudah terdegradasi namun akibat jarak molekul antar selulosa yang berdekatan menyebabkan bioplastik menjadi kurang fleksibel. Bioplastik dari selulosa memiliki kelemahan pada sifat fisik dan mekanik (Intandiana *et al.*, 2019). Kelemahan ini dapat diatasi dengan penambahan *plasticizer* seperti sorbitol, gliserol dan lain-lain yang telah banyak dimanfaatkan untuk pembuatan bioplastik dari polysakarida (Vieira *et al.*, 2011).

Penambahan *plasticizer* sorbitol dalam penelitian ini berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas struktur bahan bioplastik. Penggunaan sorbitol dalam penelitian bioplastik jauh lebih sedikit jika dibandingkan gliserol, terlebih yang menggunakan bahan rumput laut. Penggunaan sorbitol dalam penelitian ini diharapkan dapat dijadikan perbandingan terhadap penelitian sebelumnya mengenai karakteristik bioplastik yang dihasilkan. Sorbitol adalah larutan padat tidak berwarna dan tidak berbau, tidak beracun, mudah diperoleh, ekonomis dan lebih sedikit menyerap kelembapan air dibandingkan gliserol.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi sorbitol terhadap sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi), sifat fisik (ketebalan, ketahanan air, keburaman, dan laju transmisi uap air bioplastik) dan biodegradabilitas bioplastik limbah dekaragenan *K. alvarezii*. Hasil dari penelitian ini dapat dipergunakan sebagai acuan dalam meningkatkan nilai guna limbah dekaragenan rumput laut *K. alvarezii* serta memberikan informasi mengenai karakteristik limbah dekaragenan *K. alvarezii* sebagai alternatif bahan baku bioplastik yang ramah lingkungan dan ekonomis. Selain itu dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian tentang bioplastik berbahan dasar limbah dekaragenan *K. alvarezii* dan *plasticizer* sorbitol.

MATERI DAN METODE

Penelitian menggunakan limbah dekaragenan *K. alvarezii* (ekstraksi *refined carrageenan* dari *K. alvarezii*) dengan penambahan *plasticizer* sorbitol. Berat limbah dekaragenan *K. alvarezii* yang digunakan sebanyak 50 gram mengacu pada literatur Hidayati *et al.* (2019) dan konsentrasi sorbitol yang digunakan mengacu pada literatur Arief *et al.* (2021), yaitu pada konsentrasi 3% menunjukkan adanya pengaruh terhadap karakteristik bioplastik secara signifikan. Selain itu juga digunakan konsentrasi sorbitol 0% sebagai kontrol, 6%, 9%, dan 12%. Penelitian menggunakan metode *experimental laboratories* dan dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan konsentrasi sorbitol yang berbeda: A (konsentrasi sorbitol 0%, sebagai kontrol), B (3%), C (6%), D (9%) dan E (12%) dan masing – masing perlakuan diulang 3 kali.

Preparasi sampel dilakukan dengan mencuci limbah dekaragenan *K. alvarezii* hingga pH netral, kemudian disimpan pada wadah tertutup dan pada area yang sejuk atau dingin. Limbah dekaragenan *K. alvarezii* dari ekstraksi *refined carrageenan* dilakukan uji proksimat (AOAC, 1980; Helrich, 1990), meliputi: uji kadar air, kadar abu, lemak total, protein, serat kasar, selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan menimbang limbah dekaragenan *K. alvarezii* menggunakan neraca analitik masing-masing sebanyak 50 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL ditambahkan *plasticizer* sorbitol (0%, 3%, 6%, 9% dan 12%). Campuran limbah dekaragenan *K. alvarezii* dan sorbitol dengan konsentrasi yang berbeda kemudian dilarutkan dengan 100 mL akuades dan dipanaskan selama 30 menit dengan suhu 70°C menggunakan *hot plate magnetic stirrer*. Larutan bioplastik kemudian dituang pada cetakan *polypropylene* (PP) berukuran 17 cm x 22 cm x 3,5 cm. Larutan bioplastik kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 12 jam. Lembaran bioplastik kemudian dilepaskan dan dilakukan karakterisasi (Arief *et al.*, 2021).

Pengujian kuat tarik digunakan untuk menentukan jumlah tegangan yang dapat dipertahankan setiap bahan sebelum putus serta jumlah perpanjangan pada saat putus. Uji kuat tarik dilakukan mengacu pada penelitian Mahardika *et al.* (2021). Bioplastik dipotong sesuai standar (ASTM Int'l, 2018). Bioplastik dipotong ukuran 50 mm x 12,7 mm. Pengujian dilakukan menggunakan *Instron Tensile Tester* dengan kecepatan *crosshead* 500 mm/menit. Standar ASTM membutuhkan minimal sepuluh replikasi untuk film yang akan diuji. Masing-masing 5 spesimen dipilih lalu ditarik dalam mesin dan tegak lurus terhadap arah mesin. Kuat tarik bioplastik dihitung dengan membagi gaya maksimum untuk merobek (F) dengan luas penampang bioplastik (A):

$$\text{Kuat Tarik (N/mm}^2\text{)} = \frac{F}{A}$$

Keterangan: F = Gaya maksimum (Newton); A = Luas penampang (mm²)

Uji elongasi dilakukan berdasarkan metode Hamzah *et al.* (2021). Bioplastik diuji menggunakan ASTM D882-18 (ASTM Int'l, 2018). Kekuatan tarik terbaik material dihitung dengan menggunakan gaya maksimum yang dialami sampel selama pengujian dengan luas penampang sampel. Luas penampang diukur sebagai lebar pengukur dengan ketebalan rata-rata material. Ketebalan material dirata-ratakan dengan mengukur setiap set dari lima sampel berorientasi dengan akurasi 0,01 mm. Elongasi dihitung dengan membagi pertambahan panjang potongan bioplastik saat sobek dan panjang awal bioplastik sebelum ditarik.

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{b-a}{a} \times 100$$

Keterangan: a = Panjang awal bioplastik (mm); b = Pertambahan panjang bioplastik saat sobek (mm)

Uji ketebalan bioplastik dilakukan berdasarkan metode Onovo *et al.* (2022). Ketebalan film diukur dengan caliper vernier digital sesuai dengan ASTM D6988-13 (ASTM Int'l, 2013). Setiap film, diambil tiga pengukuran acak dan ditentukan nilai rata-ratanya. Uji ketahanan air dilakukan dengan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Triani *et al.* (2022). Bioplastik dipotong dengan ukuran 20 mm x 20 mm. Potongan tersebut ditimbang (M₀) kemudian dimasukkan pada wadah yang berisi air (50 mL) dan dibiarkan selama 24 jam. Potongan bioplastik kemudian diangkat dan dikeringkan pada suhu 105°C hingga kering. Setelah kering dilakukan penimbangan ke dua (M₁).

$$\text{Ketahanan Air (\%)} = 100 - \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$$

Keterangan: M₀ = berat awal sampel (g); M₁ = berat akhir sampel (g)

Metode yang dilakukan pada uji keburaman (*opacity*) mengacu pada metode yang dilakukan oleh Brandelero *et al.* (2016). Nilai keburaman bioplastik ditentukan menggunakan Lux meter. Bioplastik diletakkan di atas Lux meter untuk mengetahui intensitas cahaya yang melewati bioplastik (Lux f). Kemudian intensitas cahaya pada area lingkungan diukur (Lux i). *Opacity* bioplastik dihitung dengan rumus:

$$\text{Lux (\%)} = \frac{\text{Lux } i - \text{Lux } f}{\text{Lux } i} \times 100$$

Keterangan: Lux i =intensitas cahaya lingkungan (Lux); Lux f = instensitas cahaya terhalang bioplastik (Lux)

Uji Laju Transmisi uap air dilakukan menggunakan metode Singh (2015); Fahrullah *et al.* (2024), Bioplastik diletakkan di atas botol plastik kemudian disegel pada tempat uji yang dimodifikasi diberi 15 mL akuades. Bioplastik tersebut kemudian disimpan dalam desikator yang berisi silika gel yang telah dikeringkan pada suhu 180°C selama 3 jam. Bioplastik disimpan selama 24 jam. Laju transmisi uap air bioplastik dihitung dengan rumus:

$$\text{Laju transmisi uap air} = \frac{\Delta W}{(\Delta t \times A)}$$

Keterangan: ΔW = jumlah kehilangan berat bioplastik (g); Δt = waktu penyimpanan bioplastik (hari); A = luas film bioplastik (mm²)

Uji biodegradasi dilakukan dengan metode Behera *et al.* (2022). Campuran tanah yang akan digunakan dalam pengukuran berisi tanah, pupuk kompos, sampah tanaman dan air. Bioplastik kemudian dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm kemudian ditimbang (w_0). Tinggi tanah untuk pengujian sekitar 4 cm dengan potongan bioplastik ditanam sedalam 2 cm. Pengukuran sampel dilakukan dengan interval waktu 24 jam dan ditimbang (w_1).

$$\text{Biodegradasi (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$

Keterangan: W_0 = berat awal sampel (g); W_1 : berat akhir sampel (g)

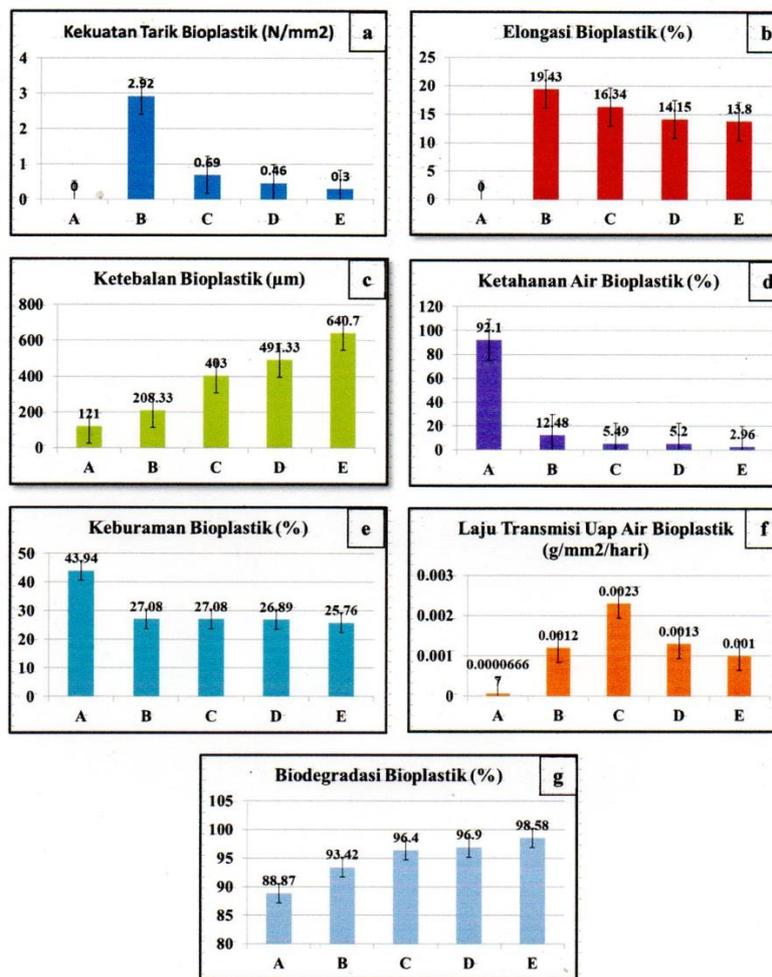
Data yang didapatkan dari 5 konsentrasi dan 3 pengulangan selanjutnya dilakukan uji statistik dengan metode one way ANOVA dan apabila terjadi perbedaan antar perlakuan konsentrasi sorbitol, maka dilakukan Uji Tukey dengan selang kepercayaan 99% (Steel & Torrie, 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik bioplastik, meliputi: kekuatan tarik, elongasi, ketebalan, ketahanan air, keburaman, laju transmisi uap air dan biodegradasi dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dengan penambahan berbagai konsentrasi sorbitol yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 1a sampai dengan Gambar 1g.

Bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dengan penambahan konsentrasi sorbitol yang berbeda-beda memiliki nilai kuat tarik yang bervariasi (Gambar 1a). Nilai kuat tarik pada bioplastik yang dihasilkan dari penambahan sorbitol pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), C (konsentrasi sorbitol 6%), D (konsentrasi sorbitol 9%) dan E (konsentrasi sorbitol 12%), telah memenuhi standar JIS (1975), yaitu sebesar 0,3 N/mm², kecuali pada perlakuan bioplastik tanpa penambahan sorbitol (perlakuan A), karena tidak memenuhi persyaratan untuk dapat dilakukan uji kuat tarik yang didasarkan pada bentuknya. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap kuat tarik produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan kuat tarik terletak pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%) dengan lainnya ($p < 0,01$), kecuali antara perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%) dan D (konsentrasi sorbitol 9%) hanya berbeda nyata ($p < 0,05$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan B (konsentrasi 3%) menghasilkan kuat tarik produk bioplastik paling tinggi dibanding perlakuan lainnya. Nilai kekuatan tarik selanjutnya dicapai pada perlakuan C (konsentrasi 6%), D (konsentrasi 9%), E (konsentrasi 12%) dan A perlakuan kontrol mempunyai nilai 0 karena tidak memenuhi standard untuk dapat diuji. Nilai kuat tarik pada bioplastik mengalami penurunan seiring dengan

penambahan konsentrasi sorbitol, sebesar $2,92 \pm 0,04$ N/mm² (perlakuan B sorbitol 3%), $0,69 \pm 0,17$ N/mm² (perlakuan C sorbitol 6%), $0,49 \pm 0,05$ N/mm² (perlakuan D sorbitol 9%) dan $0,3 \pm 0,08$ N/mm² (perlakuan E sorbitol 12%) (Gambar 1a). Penurunan nilai kuat tarik tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan konsentrasi sorbitol, maka kuat tarik yang dihasilkan akan semakin rendah. Menurut Ballesteros *et al.* (2020), penurunan ini terjadi dikarenakan *plasticizer* dapat melemahkan daya tarik intra-molekul dalam rantai polimer. Halim *et al.* (2023), menambahkan, penurunan nilai kuat tarik ini berkaitan dengan kandungan *plasticizer* dalam jumlah yang tinggi akan meningkatkan fleksibilitas, sehingga dapat menurunkan nilai kuat tarik dari bioplastik. Selain itu, *plasticizer* juga dapat membentuk ikatan hidrogen antara molekul penyusun limbah dengan *plasticizer*. Hal ini juga sesuai dengan Sitompul *et al.* (2017), bahwa *plasticizer* dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada ikatan intermolekul polimer yang menurunkan sistem dispersi padatan. Rahmawati *et al.* (2019), menyatakan bahwa sorbitol dapat menurunkan ikatan antar rantai polimer yang mengakibatkan peningkatan jarak antar molekul sehingga kuat tarik bioplastik menurun.



Gambar 1. Karakteristik Produk Bioplastik yang Dihasilkan dari Bahan Dasar Limbah Dekaragenan (*Kappaphycus alvarezii*) Dengan Penambahan Berbagai Konsentrasi Plastizer Sorbitol. Keterangan: A (Sorbitol 0%), B (Sorbitol 3%), C (Sorbitol 6%), D (Sorbitol 9%), E (Sorbitol 12 %); Standar Baku Mutu: * Kekuatan Tarik >0,39 Mpa, *Elongasi <10% Sangat Buruk > 50% Sangat Baik, Ketebalan ≤250 μm, Ketahanan Air ≤ 70%, Laju Transmisi Uap Air Maks 7g/mm²/hari, **/** Biodegradasi >60-90%; Sumber: : * Japanese Industrial Standard (JIS) (1975), ** Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (1992), *** International Standard Organizatin (2019)

Uji elongasi menunjukkan nilai perpanjangan putus dari bioplastik limbah *K. alvarezii* cukup baik dan memenuhi *Standar Industri Jepang* (JIS). Standar JIS (1975) menganggap nilai elongasi <10% sangat buruk dan >50% sangat baik. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap elongasi produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan elongasi terletak pada perlakuan kontrol A (konsentrasi sorbitol 0%) dengan lainnya ($p < 0,01$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan E (konsentrasi sorbitol 12%) satu sama lain menunjukkan tidak ada perbedaan yang sangat nyata ($p < 0,01$). Nilai elongasi lebih tinggi dicapai pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan E (konsentrasi sorbitol 12%) dibanding dengan perlakuan A (perlakuan kontrol tanpa sorbitol) (Gambar 1b). Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi sorbitol mulai dari 3% - 12 % tidak menghasilkan peningkatan nilai perpanjangan putus. Hal ini juga dikatakan oleh Maryuni *et al.* (2018), penurunan ini terjadi karena sifat bioplastik dipengaruhi oleh komponen penyusun utama dan tambahan, baik jenis maupun besarnya konsentrasi yang ditambahkan. Ballesteros *et al.* (2020) menambahkan bahwa molekul sorbitol memiliki jari-jari yang lebih besar (0,39 μm) dibandingkan dengan gliserol (0,31 μm). Hal ini membuat sorbitol lebih sulit untuk menembus rantai polimer dan menghambat mobilitas dalam struktur kristal. Akibatnya, elastisitas sorbitol lebih rendah dari pada gliserol. Eka & Suyanto (2015), mengatakan bahwa meningkatnya ketebalan bioplastik dapat meningkatkan kuat tarik tetapi mengurangi elongasi dan resistensi air.

Rata-rata nilai ketebalan pada produk bioplastik dari hasil perlakuan penambahan sorbitol untuk perlakuan A (konsentrasi sorbitol 0% sebagai kontrol), perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) dapat dilihat pada Gambar 1c. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap ketebalan produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan ketebalan produk bioplastik terletak pada perlakuan satu dengan lainnya ($p < 0,01$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan E (konsentrasi 12%) menghasilkan ketebalan produk bioplastik yang paling tinggi ($640,66 \pm 27,50 \mu\text{m}$ dibanding perlakuan lainnya. Nilai ketebalan paling rendah dicapai pada perlakuan A (perlakuan kontrol tanpa sorbitol), yaitu sebesar $121 \pm 10,82 \mu\text{m}$. Hal ini dapat terjadi karena proses penuangan larutan ke cetakan, sehingga larutan masuk secara tidak merata dan mengeras hingga proses pengeringan selesai. Ukuran cetakan dan volume penuangan larutan bioplastik berperan besar pada ketebalan bioplastik. Faktor lainnya juga dapat disebabkan oleh perbedaan polimer penyusun matriks pada limbah dan *plasticizer*. Hal ini sesuai dengan Maryuni *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa penambahan konsentrasi *plasticizer* dapat meningkatkan jumlah polimer penyusun matriks, sehingga total padatan yang ada di dalam larutan bioplastik meningkatkan ketebalan bioplastik setelah dikeringkan. Peningkatan ketebalan juga dapat disebabkan oleh sifat *plasticizer* dalam mengikat air. Farhan & Hani (2017), menyatakan bahwa peningkatan ketebalan disebabkan oleh kemampuan menyerap air yang dimiliki oleh *plasticizer* hidrofilik, sehingga semakin tinggi konsentrasi *plasticizer*, maka bioplastik yang dihasilkan juga akan semakin tebal.

Rata-rata nilai ketahanan air pada produk bioplastik dari hasil perlakuan penambahan sorbitol untuk perlakuan A (konsentrasi sorbitol 0% sebagai control), perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) dapat dilihat pada Gambar 1d. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap ketahanan air produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan ketahanan air terletak pada perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) dengan lainnya ($p < 0,01$), namun pada perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan C (konsentrasi sorbitol 6%) tidak menunjukkan adanya perbedaan ketahanan air yang nyata ($p < 0,05$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) menghasilkan ketahanan air produk bioplastik paling tinggi dan perlakuan A (konsentrasi

sorbitol 0%) paling rendah (Gambar 1d). Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa tingkat ketahanan air pada bioplastik akan meningkat seiring dengan penambahan *plactisizer* sorbitol. Hasil tersebut diperkuat oleh Farhan & Hani (2017) yang menyatakan bahwa peningkatan ketahanan air dapat disebabkan sifat hidrofilik *plactisizer*. Lim *et al.* (2021), juga menyatakan bahwa bioplastik memiliki kemampuan menahan air secara bertahap dan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi sorbitol.

Nilai rata-rata keburaman bioplastik dari hasil pengaruh perlakuan penambahan berbagai konsentrasi sorbitol pada produksi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dapat dilihat pada Gambar 1e. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap keburaman produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan keburaman terletak pada perlakuan A (perlakuan kontrol tanpa sorbitol) dengan lainnya dan perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) masing-masing dengan perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) ($p < 0,01$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan B (konsentrasi 3%), perlakuan C (konsentrasi 6%) dan perlakuan D (konsentrasi 9%) menghasilkan keburaman produk bioplastik yang lebih tinggi dibanding perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12 %). Nilai keburaman paling rendah dicapai pada perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12 %). Nilai keburaman tertinggi terjadi pada bioplastik tanpa penambahan sorbitol (perlakuan A), yaitu $43,94 \pm 0,66\%$ dan terendah ada pada perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) dengan nilai $25,76 \pm 0,33\%$ (Gambar 1e). Hasil tersebut menunjukkan penurunan keburaman pada bioplastik seiring dengan penambahan konsentrasi sorbitol atau penambahan sorbitol dapat meningkatkan transparansi pada bioplastik. Hal tersebut sesuai dengan penegasan Suyatma & Taqi (2022), yang menyatakan bahwa penambahan *plasticizer* sorbitol menghasilkan transparansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan *plasticizer* lain seperti gliserol. Penambahan konsentrasi sorbitol dapat mempengaruhi nilai keburaman bioplastik karena pengaruhnya pada sifat fisik dan struktur bahan. Keburaman pada bioplastik disebabkan oleh penyebaran cahaya dan refleksi karena perbedaan indeks refraksi antara berbagai komponen yang ada. Penyebaran cahaya dalam bioplastik terjadi ketika rantai polimer tidak tersusun secara seragam dan gelombang cahaya tersebar di antarmuka antara berbagai bagian bioplastik. Selain itu, sorbitol memiliki indeks bias yang lebih dekat dengan matriks polimer dibandingkan dengan komponen lain, seperti pengisi atau agen penguat, yang terdapat dalam formulasi atau limbah bioplastik. Indeks bias yang lebih dekat ini cocok antara sorbitol dan matriks polimer, sehingga membantu mengurangi ketidakcocokan indeks bias dalam bahan dan lebih meminimalkan penyebaran cahaya dan meningkatkan transparansi. Oleh karena itu, ketika konsentrasi sorbitol meningkat bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih transparan karena peningkatan mobilitas rantai dan homogenitas yang lebih baik, serta mengurangi penyebaran cahaya di antarmuka.

Nilai rata-rata laju transmisi uap air bioplastik dari hasil pengaruh perlakuan penambahan berbagai konsentrasi sorbitol pada produksi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dapat dilihat pada Gambar 1f Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap laju transmisi uap air produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan Laju Transmisi Uap Air terletak pada perlakuan A (konsentrasi sorbitol 0% sebagai perlakuan kontrol) dengan E (konsentrasi sorbitol 12%), perlakuan D (konsentrasi sorbitol 9%) dan B (konsentrasi sorbitol 3%) ($p < 0,01$), namun dengan perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%) tidak berbeda sangat nyata ($p \geq 0,01$). Perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), E (konsentrasi sorbitol 12%) dan D (konsentrasi sorbitol 9%) masing - masing berbeda sangat nyata dengan perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%) ($p < 0,01$), namun perlakuan C (konsentrasi sorbitol 6%), E (konsentrasi sorbitol 12%) dan D (konsentrasi sorbitol 9%) satu sama lain saling berpasangan tidak berbeda sangat nyata ($p \geq 0,01$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%) menghasilkan laju transmisi uap air produk bioplastik yang paling rendah dibanding perlakuan lainnya. Bioplastik tanpa penambahan konsentrasi sorbitol (perlakuan A) menunjukkan laju transmisi uap air tertinggi, yaitu sebesar $0,0041 \pm 0,0001$ g/mm²/hari,

sedangkan nilai transmisi uap air terendah berada pada perlakuan B (konsentrasi sorbitol 3%), yaitu sebesar $0,0031 \pm 0,0001$ g/mm²/hari. Laju transmisi uap air mengacu pada kemampuan uap air untuk melewati suatu material. Sorbitol memiliki kemampuan untuk menarik dan mempertahankan kelembapan dari lingkungan sekitar. Hal ini terkait dengan sifat hidrofil yang dimiliki oleh senyawa sorbitol (BeMiller, 2018). Ketika sorbitol ditambahkan ke dalam bioplastik, maka dapat meningkatkan kadar air di dalam bahan, membuatnya lebih rentan terhadap transmisi uap air. Penambahan sorbitol dalam bioplastik dapat membuat jalur atau saluran dalam matriks polimer memungkinkan molekul air berpindah lebih mudah. Hal ini dapat mengakibatkan peningkatan laju transmisi uap air dibandingkan dengan bioplastik tanpa sorbitol. Menurut Lim *et al.* (2021), ketebalan bioplastik dapat meningkatkan ikatan polimer dan mengakibatkan penurunan laju pertukaran uap air. Menurut Maryuni *et al.* (2018), meningkatnya jumlah polimer akan menurunkan rongga di dalam gel terbentuk, kemudian meningkatkan kekuatan interpolimer dan mengurangi penetrasi bioplastik ke gas, uap, dan porositas. Dengan demikian, kerja bioplastik sebagai penghalang masuk air akan meningkat. Ketebalan juga dapat mempengaruhi laju pertukaran uap air dalam bioplastik. Bioplastik yang memiliki nilai ketebalan tinggi dan padat dapat menurunkan laju transmisi uap air, karena akan menyulitkan penetrasi uap air. Hal ini sesuai dengan penjelasan Bertuzzi *et al.* (2007), yang menyatakan bahwa ketebalan bioplastik dapat mempengaruhi laju transmisi uap air, karena menyebabkan laju transmisi berkurang seiring bertambahnya ketebalan pada bioplastik.

Nilai rata-rata biodegradasi bioplastik dari hasil pengaruh perlakuan penambahan berbagai konsentrasi sorbitol pada produksi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dapat dilihat pada Gambar 1g. Tingkat biodegradasi dari semua konsentrasi perlakuan yang diterapkan pada penelitian telah memenuhi standar OECD (1992) dengan hasil biodegradasi sebesar >60% selama 7 hari. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa penggunaan sorbitol dengan berbagai macam dosis pada proses produksi bioplastik dari bahan limbah dekaragenan *K. alvarezii* menghasilkan perbedaan yang sangat nyata terhadap Biodegradasi produk bioplastik ($p < 0,01$). Perbedaan biodegradasi yang sangat nyata terletak pada perlakuan satu dengan lainnya ($p < 0,01$). Penggunaan sorbitol pada perlakuan E (konsentrasi sorbitol 12%) menghasilkan biodegradasi produk bioplastik paling tinggi ($98,85 \pm 0,03\%$) dibanding perlakuan lainnya. Nilai biodegradasi yang semakin menurun selanjutnya dicapai pada perlakuan D, C, B dan A (konsentrasi sorbitol 0% sebagai perlakuan kontrol) mempunyai nilai paling rendah, yaitu sebesar $88,87 \pm 0,18\%$. Penambahan sorbitol menunjukkan terjadinya peningkatan pada nilai biodegradasi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii*. Bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi pengganti plastik dengan sifat fisik buram dan kaku serta kuat tarik yang lebih rendah. Hal serupa juga disampaikan oleh Abe *et al.* (2021), bahwa selulosa yang terkandung dalam rumput laut memiliki biodegradabilitas, non-toksitas dan biokompatibilitas yang baik dengan kekuatan tarik dan tekan tinggi. Bahan ini telah digunakan secara luas di berbagai bidang, seperti: nanoteknologi, industri farmasi, industri makanan, kosmetik, industri tekstil dan kertas. Hasil uji biodegradasi pada bioplastik limbah dekaragenan *K. alvarezii* dengan penambahan *plasticizer* sorbitol telah memenuhi standar plastik kemasan, sehingga dapat dijadikan alternatif bahan plastik *biodegradable* dengan biaya yang lebih ekonomis (Sedayu *et al.*, 2018; Sedayu *et al.*, 2020).

KESIMPULAN

Penggunaan sorbitol pada formulasi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$) terhadap kuat tarik, elongasi, ketebalan, ketahanan air, keburaman, transmisi uap air dan biodegradasi bioplastik. Dengan demikian dapat diartikan bahwa penggunaan berbagai konsentrasi sorbitol pada produksi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* sangat berdampak terhadap sifat mekanik dan sifat fisik bioplastik. Produksi bioplastik dari limbah dekaragenan *K. alvarezii* dengan penambahan konsentrasi sorbitol yang semakin tinggi menghasilkan nilai kuat tarik, elongasi dan keburaman yang dihasilkan semakin rendah, tetapi nilai ketebalan, ketahanan air, laju transmisi uap air, dan biodegradasi semakin tinggi. Hasil dari penelitian ini dapat dipergunakan sebagai acuan dalam meningkatkan nilai guna limbah

dekaragenan rumput laut *K. alvarezii* serta memberikan informasi mengenai karakteristik limbah dekaragenan *K. alvarezii* sebagai alternatif bahan baku bioplastik yang ramah lingkungan dan ekonomis. Selain itu dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian tentang bioplastik berbahan dasar limbah dekaragenan *K. alvarezii* dan *plasticizer* sorbitol.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A.H.D., Firdiana, B., Choirunnisa, R., Satoto, R., Karina, M., Fransiska, D., Nurhayati, Agusma, Iriyanto, H.E., Priambudi, P., Marijah, S. & Ismadi. 2021. Effect of k-carrageenan on mechanical, thermal and biodegradable properties of starch carboxymethyl cellulose (CMC) Bioplastic. *Cellulose Chemistry and Technology*, 55(9-10): 1109-1117.
- Abe, M.M., Martins, J.R., Sanvezzo, P.B., Macedo, J. V., Branciforti, M. C., Halley, P., Botaro, V. R., & Brienzo, M. 2021. Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components. *Polymers*, 13(15): p.2484.
- Adam, F., Othman, N.A. & Azman, N.A.M. 2022. Evaluation of reinforced and green bioplastic from carrageenan seaweed with nanocellulose. *Fibers and Polymers*, 23:2885-2896.
- Ajith K.P., Sundar A., Ramesh K.K., Anusha K, & Chandini V.S. 2024. Review on 3D printing of pharmaceutical solid dosage forms. *Human Journals*, 30(4):226-244.
- AOAC, 1980. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13th Edition. Washington, D.C., 1018 pp.
- Arief, M.D., Mubarak, A.S., & Pujiastuti, D.Y. 2021. The concentration of sorbitol on bioplastic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1):1-7. doi: 10.1088/1755-1315/679/1/012013.
- Aripin, S., Saing, B., & Kustiyah, E. 2017. Studi pembuatan bahan alternatif plastik biodegradable dari pati ubi jalar dengan plasticizer gliserol dengan metode melt intercalation. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2): 79-84.
- ASTM Int'l (American Society for Testing Material Int'l), 2013. Standard guide for determination of thickness of plastic film test specimens. Designation: D6988-13.: ASTM Int'l, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C 700, West Conshohocken, PA 19428-2959.USA.
- ASTM Int'l (American Society for Testing Material Int'l), 2018. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Designation: D882-18. Purdue University Libraries. West Conshohocken, PA.USA.
- Azevedo, A.G., Torres, M.D., Pinto, I.S. & Hilliou, I. 2015. Effect of pre –extraction alkali treatment on the structure and gelling properties of extracted hybrid carrageenan from *Chondrus crispus* and *Ahnfeltiopsis devoniensis*. *Food Hydrocolloids*, 50:150-158 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.03.029.
- Ballesteros-Martinez, L.C. Perez-Cervera, & R. Andrade-Pizzaro. 2020. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical and barrier properties of sweet potatoes starch film. *NFS Journal*, 20:1-9. doi: 10.1016/j.nfs.2020.06.002.
- Behera, L., Mahanta, M. & Thirugnanam, A. 2022. Intensification of yam-starch based biodegradable bioplastic film with bentonite for food packaging application. *Environment Technology and Innovation*, 25: p.102180. DOI: 10.1016/ j.eti.2021.102180.
- BeMiller, J.N. 2018. Carbohydrate Chemistry for Food Scientist. Chapter 2. Carbohydrat Reactions. Third Edition. Published by Elsevier Inc. pp.25-48. DOI: 10.1016/C2016-0-01960-5.
- Bertuzzi, M.A., Vidaurre, E.F.C., Armada, M. & Gottifredi, J.C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *Journal Food Engineering*, 80: 972-978.
- Brandelero, R.P.H., Brandelero, E.MM & de Almeida, F.M. 2016. Filmes biodegradaveis de amido PVOH alginata em sistema de embalagem para alface (*Lactuca sativa L.*) minimamente processada. *Ciencia e Agratecnologia*, 40(5):510-521.
- Eka, A. & Suyanto, R. 2015. Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap sifat fisik dan mekanik edible film dari pati bonggol pisang dan karagenan dengan plasticizer gliserol. *Jurnal Kimia*, 4(3): 34-40.
- Fahrullah, Kisworo, F.D., Bulkaini, B., Yulianto, W., Wulandani, B.R.D., Haryanto, H., Noersidiq, A., Maslami, V., Ulkiyah, K. & Rahmawati, L. 2024. Optimization of the thickness, watervapour transmission rate and morphology protein based films incorporating glycerol and polyethylene

- glycol plasticizers. *Jurnal Ilmu – Ilmu Peternakan*, 34(1): 11-20. DOI: 10.21776/ub.jiip.2024.034.01.02.
- Farhan, A., & Hani, N.M. 2017. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloids*, 64: 48–58.
- Fitriani, D., Nurbayasari, R. & Sedayu, B.B. 2007. Ekstraksi selulosa dari limbah pembuatan karagenan. *Jurnal Paska Panen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 2(2):1-7.
- FTMM-UNAIR, 2024. Plastik biodegradable dengan nanoteknologi solusi alternative ramah lingkungan.03 Mei 2024. Fakultas Teknologi Maju dan Multidisiplin
- Gelli, V.C., Patino, M.T.O., Rocha, J.V., Barbieri, E., Miranda-Filho, K.C., & Henriques, M.B. 2020. Production of the *Kappaphycus alvarezii* extract as a leaf biofertilizer: Technical and economic analysis for the north coast of são paulo-brazil. *Boletim Do Instituto de Pesca*, 46(2): 1–12.
- Hamzah, F.H., Sitompul, F.F., Ayu, D.F. & Pramana, A. 2021. Effect of gliserol addition on the physical characteristic of biodegradable plastic made from oil palm empty fruit bunch. *Industria: Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*, 10(3):239-248. DOI: 10.21776/ub.industria.2021.010.03.5
- Halim, M.D., Karangan, A., Suprihatin, S., & Nandini, A. 2023. Pemanfaatan limbah nasi aking pada pembuatan bioplastik dengan kitosan dan plasticizer sorbitol. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(2): 111-115.
- Helrich, K. 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC 973-18).15th Edition. Arlington VA.
- Hidayati, S., Zulferiyenni, N. & Satyajaya, W. 2019. Optimasi pembuatan biodegradable film dari selulosa limbah padat rumput laut *Eucheuma cottonii* dengan penambahan gliserol, kitosan, CMC dan tapioka. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(2): 340-354.
- Indriyani, S., Hadijah & Indrawati, E. 2021. Potensi Budidaya Rumput Laut. Studi Perairan Pulau Sembilan, Kabupaten Sinjai, Sulawesi Selatan. Cetakan Pertama, Penerbit Pusaka Almada, Gowa, Sulawesi Selatan.78 Hlm.
- Intandiana, S., Dawam, A.H., Denny, Y.R. & Affifah, R.F.S. 2019. Pengaruh karakteristik bioplastik pati singkong dan selulosa mikrokristal terhadap sifat mekanik dan hidrofobisitas. *Edu Chemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2):185-194.
- ISO.2019. ISO17556-3:2019 Plastik-Penentuan biodegradabilitas aerobik akhir dari bahan plastic di tanah dengan mengukur kebutuhan oksigen dalam respirometer atau jumlah karbon dioksida yang dilepaskan.
- JIS (Japanese Industrial Standard). 1975. Japanese Industrial Standard 2.1707. Japanese Standard Association Journal.
- KKP & JICA. 2017. Indonesian Marine and Fisheries Book 2017. Ministry of Marine Affairs and Fisheries and JICA. Jakarta.103 Hlm.
- Lim, C., Yusoff, S., NG, C.G., Lim, P.E. & Ching, C.Y. 2021. Bioplastic made from seaweed polysaccharides with green production methods. *Journal of Environmental and Chemical Engineering*, 9(5):p.105895. DOI: 10.1016/j.jece.2021.105895.
- Mahardika, M., Asrofi, M., Priyanto, A., Hermawan, Y., Junus, S., Mulyadi, S., Sujito, S. & Amelia, D. 2021. Aplikasi serat alam *Muntingia calabura* sebagai pengisi dalam biokomposit bermatriks polivinil alkohol (PVA): karakteristik sifat kuat tarik dan permukaan patahan. *Agroteknika*, 4(1):43-52.
- Maryuni, A.E., Mangiwa, S., & Dewi, W.K. 2018. Karakterisasi bioplastik dari karagenan dari rumput laut merah asal Kabupaten Biak yang dibuat dengan metode blending menggunakan pemlastis sorbitol. *Jurnal Kimia Avogadro*, 2(1):1-9. DOI: 10.31957/v2i1.887.
- Mutalib, Y. & Rahman, S.A. 2018. Pertumbuhan dan kandungan karagenan rumput laut *Kappaphycus alvarezii* pada dosis mikroorganisme lokal (MOL) buah Maja. *Journal of Blue Oceanic*, 02(01):1-8.
- OECD.1992. Uji No 302 B: Biodegradabilitas inherent: Uji Zahn-Wellens / EVPA. [https:// www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no302b-inherentbiodegradability-zahn-wellen-evpatest_9789264070787-en,1992.](https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no302b-inherentbiodegradability-zahn-wellen-evpatest_9789264070787-en,1992)
- Onovo, H.O., Akano, T.T., Onyegbule, D.U., Towolawi, E.T., & Ajala, T.S. 2022. A study of biodegradation of hybrid bioplastic film blend from Manihot and Triticum biopolymer. *European*

- Journal of Engineering and Technology Research*, 7(3):30-38. DOI: 10.24018/ejeng.20227.3.2772.
- Packiyadhas, P., & Shanmuganantham, S.D. 2020. Compositional and structural evaluation of *Kappaphycus alvarezii* rejects and solid food waste blends for bio ethanol production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, pp.1-17. DOI: 10.1080/15567036.2020.1806405.
- Ratnawati, E., Mustafa, A., Daud, R., Riset, B., Budidaya, P., Payau, A., Makmur, J., Sitakka, D., & Selatan, S. 2016. Faktor pengelolaan yang mempengaruhi tingkat produksi rumput laut *Kappaphycus alvarezii* di Perairan Pantai Selatan Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset Akuakultur*, 5(3):491-504. DOI: 10.15578/jra.5.3. 2010.491-504.
- Rahmawati, M., Arief, M. & Satyantini, W.H. 2019. The effect of sorbitol addition on the characteristic of carrageenan edible film. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 236(1):p.012129. DOI: 10.1088/1755-1315/236/ 1/012129.
- Rhein-Knudsen, N., Ale, M.T. & Meyer, A.S. 2015. Seaweed hydrocolloid production: an update on enzyme assisted extraction and modification technologies. *Marine Drugs*, 13(6): 3340-3359.
- Sedayu, B.B., M.J. Cran, & S.W. Bigger. 2018. Improving the moisture barrier and mechanical properties of semi refined carrageenan films. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(41): p.49238. doi:10.1002/app. 49238.earlyview.
- Sedayu, B.B., Cran, M.J. & Bigger, S.W. 2020. Reinforcement of refined and semi-refined carrageenan film with nanocellulose. *Polymers*, 12(5): 2-20. DOI: 10.3390/ polym12051145.
- Setiawan, A., Anggraini, F.D.M., Ramadani, T.A., Cahyono, L., & Rizal, M.C. 2021. Pemanfaatan jerami padi sebagai bioplastik dengan menggunakan metode perlakuan pelarut organik. *Metana*, 17(2): 69-80.
- Singh, R.V. 2015. Polyhydroxybutyrate (PHB): Biodegradable, bioplastics produced by micro - organisms. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 7:17-23.
- Simatupang, N.F., Pong-Masak, P.R., Ratnawati, P., Agusman, Paul, N.A., & Rimmer, M.A. 2021. Growth and product quality of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* from different farming locations in Indonesia. *Aquaculture Reports*, 20: p.100685. DOI: 10.1016/j.agrep.2021.100685.
- Sitompul, R., Darmanto, Y.S. & Romadhon. 2017. Aplikasi karagenan terhadap kekuatan gel pada produk kamaboko dari ikan yang berbeda. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 6(1): 38–46.
- Solihin, M.M., Muljono, P., & Sadono, D.J.J.I.L. 2019. Partisipasi ibu rumah tangga dalam pengelolaan sampah melalui bank sampah di Desa Ragajaya, Bojonggede-Bogor Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3):388-398.
- Steel, R.G.D., & Torrie, J.H.1993. Prinsip dan Prosedur Statistika Suatu Pendekatan Biometrik.PT Gramedia Pustaka Utama.Jakarta.748 Hlm.
- Sudhakar, M.P., Magesh, P.D., & Dharani, G. 2021. Studies on the development and characterization of bioplastic film from the red seaweed (*Kappaphycus alvarezii*). *Environmental Science and Pollution Research*, 28(26): 33899–33913.
- Sudhakar, M.P., Merlyn, R., Arunkumar, K., & Perumal, K. 2016. Characterization, pretreatment and saccharification of spent seaweed biomass for bioethanol production using baker's yeast. *Biomass and Bioenergy*, 90: 148–154.
- Suyatma, N.E., & Taqi, F.M. 2022. The effect of heating time, type and plasticizer concentration on characteristics of termoplastic κ-karagenan. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 10(1): 29-40.
- TKN-PSL (Tim Koordinasi Nasional Pengelolaan Sampah Laut), 2023. Sepanjang tahun 2022 terdapat 12,54 juta ton sampah plastik di Indonesia. <http://www/kompas.com>. (15 Februari 2023).
- Triani, T.A., Alamsjah, M.A. & Pujiastuti, D.Y. 2022. Application of modified starch on carrageenan-based bioplastic's cup from *Eucheuma cottonii* on biodegradability and water resistance. *Journal of Marine and Coastal Science*, 11(3):90-98. DOI: 10.20473/jmcs.v11i3.38285.
- Vieira, M.G.A., Da Silva, M.A., Dos Santos, L.O. & Beppu, M.M. 2011. Natural Based Plasticizers and Biopolymer Films: A Review. *European Polymer Journal*, 47(3):254-263. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.