

Preparasi dan Karakterisasi Bioplastik dari Limbah Ekstraksi Karagenan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva, 1966 dengan Pemplastis Gliserol

Ali Ridlo*, Agus Sabdono, Subagiyo, Raden Ario, Ibnu Pratikto, Retno Hartati

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: aliridlo26@gmail.com

Abstract

Preparation and Characterization of Bioplastics from Carrageenan Extraction Waste Seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva, 1966 with Glycerol Plasticizer

The carrageenan production process from *Kappaphycus alvarezii* seaweed produces solid waste of 60%-70% w/w, primarily composed of cellulose, which can be used for bioplastic films. This research aims to determine the effect of glycerol plasticizer addition on the characteristics of *K. alvarezii* waste-based bioplastics. Bioplastics were made by mixing 50 g of wet waste with 90 mL of distilled water, homogenized at 70°C for 30 minutes. Glycerol (0%, 1%, 2%, 3%, 4%) was added, with water to a total volume of 150 mL, and homogenized again for 30 minutes. The solution was poured into a polypropylene mold and dried at 60°C for 24 hours. Results showed glycerol increased transparency and elongation but reduced tensile strength and water resistance. The addition of 1% glycerol produced bioplastics with the best characteristics, meeting Japanese Industrial Standards. FTIR and SEM showed similar bioplastic properties across treatments. This research indicates that *K. alvarezii* carrageenan extraction waste is promising for packaging material and bioplastic production.

Keywords : Bioplastic film, glycerol, polymer, *K. alvarezii* waste

Abstrak

Proses produksi karagenan dari rumput laut *Kappaphycus alvarezii* menghasilkan limbah padat sebesar 60%-70% w/w, terutama terdiri dari selulosa yang dapat digunakan untuk film bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan plastisizer gliserol terhadap karakteristik bioplastik limbah *K. alvarezii*. Bioplastik dibuat dengan mencampurkan 50 g limbah basah dengan 90 mL akuades, dihomogenkan pada suhu 70°C selama 30 menit. Gliserol (0%, 1%, 2%, 3%, 4%) ditambahkan hingga volume 150 mL, dihomogenkan kembali selama 30 menit. Larutan dituang dalam cetakan polipropilena dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan gliserol meningkatkan transparansi dan elongasi, tetapi mengurangi kuat tarik dan ketahanan air. Penambahan 1% gliserol menghasilkan bioplastik dengan karakteristik terbaik, memenuhi Japanese Industrial Standard. FTIR dan SEM menunjukkan sifat bioplastik yang serupa pada semua perlakuan. Penelitian ini menunjukkan bahwa limbah ekstraksi karagenan *K. alvarezii* menjanjikan sebagai bahan kemasan dan produksi bioplastik.

Kata kunci : Film bioplastik, gliserol, polimer, limbah *K. Alvarezii*

PENDAHULUAN

Industri pengolahan karagenan dari rumput laut *K. alvarezii* menghasilkan limbah padat sekitar 65% yang dapat mencemari lingkungan (Meinita *et al.*, 2019; Sedayu *et al.*, 2018). Limbah ini mengandung selulosa (sepertiga berat), lignin (4,5% w/w), dan hemiselulosa (4,5% w/w) (Arief *et al.*, 2021). Limbah ini biasanya dihasilkan dalam tahap filtrasi (Thiruchelvi *et al.*, 2021). Limbah ekstraksi hidrokoloid dari rumput laut telah diteliti sebagai material bernilai tambah seperti NanoCrystalline Cellulose (NCC) (Feng *et al.*, 2015), bioetanol (Sedayu *et al.*, 2018; Wadi *et al.*, 2019), material komposit (El Achaby *et al.*, 2018), film biodegradabel (Sudharsan *et al.*, 2015; Hidayati *et al.*, 2019), dan bioplastik (Arief *et al.*, 2021; Fauziyah *et al.*, 2021). Limbah ini juga berpotensi sebagai hybrid filler biokomposit untuk industri otomotif, konstruksi, dan kemasan.

Pemanfaatan limbah ini secara berkelanjutan dapat mengurangi pencemaran dan bermanfaat dalam material bernilai tambah. Penambahan selulosa dari limbah rumput laut

Sargassum sp. mampu meningkatkan resistensi air pada film tapioka-kitosan (Rahmi *et al.*, 2020). Limbah *E. cottonii* dapat digunakan sebagai material pembuatan biodegradable film campuran gliserol, kitosan, Karboksi Metil Selulosa (CMC), dan tapioka (Hidayati *et al.*, 2019). Biofiller limbah *E. cottonii* dalam bioplastik pati-agar mampu meningkatkan kuat tarik, kelenturan, dan biodegradabilitas bioplastik (Jumaidin *et al.*, 2017).

Namun, film berbasis limbah ekstraksi karagenan mudah robek, rapuh, dan memiliki sifat mekanis serta penghalang yang buruk (Sanyang *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlu dicampur dengan material atau polimer lain, diperkuat dengan nanomaterial, atau ditambahkan pemlastis (Sedayu *et al.*, 2019; Ibrahim *et al.*, 2021). Plasticizer adalah senyawa non-volatil dengan berat molekul rendah yang digunakan untuk meningkatkan fleksibilitas polimer (Suderman *et al.*, 2018). Plasticizer yang biasa digunakan adalah gliserol (Gao *et al.*, 2017; Rahmi *et al.*, 2020; Fauziyah *et al.*, 2021), sorbitol (Ili Balqis *et al.*, 2017; Arief *et al.*, 2021), polivinil alkohol (Brandelero *et al.*, 2016), dan polietilen glikol (Sudhakar *et al.*, 2020).

Konsentrasi gliserol dan sorbitol 25%-30% berpengaruh terhadap kuat tarik, elongasi, kelarutan, dan permeabilitas uap air edible film semi-refined κ -karagenan (Farhan & Hani, 2017). Gliserol menyebabkan destrukurisasi, meningkatkan mobilitas, dan kristalinitas rantai polimer film alginat (Gao *et al.*, 2017). Penambahan gliserol 5% menghasilkan kuat tarik 124.2 Mpa dan biodegradabilitas $39.20 \pm 0.87\%$ bioplastik limbah ekstraksi *E. cottonii*-kitosan (Fauziyah *et al.*, 2021). Gliserol meningkatkan elongasi biodegradable film dari limbah *E. cottonii* (Hidayati *et al.*, 2019), namun menurunkan kuat tarik dan modulus Young karena mengurangi ikatan hidrogen internal yang menyebabkan jarak antar rantai biopolimer semakin jauh. Senyawa poliol meningkatkan fleksibilitas polimer dengan cara mengurangi interaksi/ikatan hidrogen antar rantai polimer polisakarida, meningkatkan biodegradabilitas bioplastik, dan menurunkan derajat kristalinitas selulosa sehingga mengurangi kerapatan film (Gao *et al.*, 2017; Farhan & Hani, 2017). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan plasticizer gliserol terhadap sifat fisika (ketebalan, ketahanan air, transmisi uap air, keburaman) dan sifat mekanik (elongasi dan kuat tarik) bioplastik limbah ekstraksi karagenan rumput laut *K. alvarezii*.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian ini adalah limbah ekstraksi karagenan rumput laut *K. alvarezii* dari Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Alat yang digunakan adalah blender, *hot plate stirrer*, oven, *Texture Analyzer*, desikator, neraca analitik, viscosimeter, luxmeter, jangka sorong, termometer, saringan kain, cetakan dari polipropilena ukuran 21x16x4cm, dan beberapa alat gelas. Bahan yang digunakan adalah akuades, kalium hidroksida, dan gliserol. Rumput laut direndam dalam air selama 24 jam, lalu dicuci menggunakan air mengalir untuk menghilangkan kotoran dan garam yang menempel (Gambar 1a), kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama 3 hari (kadar air < 15%).

Ekstraksi karagenan mengacu pada metode Hidayati *et al.*, (2019), yang dimodifikasi pada rasio bahan, waktu perendaman dan konsentrasi KOH. Sebanyak 50 g rumput laut *K. alvarezii* kering direndam dalam 350 ml akuades selama 30 menit, lalu disaring, kemudian direndam dalam 2 L larutan KOH 5% selama 24 jam, setelah itu dicuci hingga bersih dan direbus dalam 2 L akuades pada suhu 90°C selama 3 jam, lalu disaring menggunakan kain belacu. Residu penyaringan ditampung sebagai bahan pembuatan bioplastik (Gambar 1b). Komposisi kimia limbah pada Tabel 1.

Pembuatan bioplastik mengacu pada Fauziyah *et al.* (2021) dan Lim *et al.* (2021) dengan modifikasi pada komposisi bahan. Limbah basah sebanyak 50 g dicampur dengan 90 mL akuades dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian dihomogenkan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* selama 30 menit pada suhu 70°C. Gliserol masing-masing sebanyak 0 (kontrol), 1, 2, 3, dan 4% ditambahkan ke dalam campuran dan ditambah akuades sampai volume total 150 mL, lalu dihomogenkan kembali selama 30 menit pada suhu 70°C. Setelah itu, larutan dituang dalam cetakan plastik polipropilena ukuran 21x16x4cm dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah itu bioplastik dilepaskan dari cetakan lalu dilakukan karakterisasi.

Tabel 1. Komposisi Kimia Limbah Ekstraksi Karagenan Rumput Laut *K. Alvarezii*

Parameter	Kandungan (% basis kering)
Abu	21,11
Lemak	0
Protein	5,01
Serat kasar	21,37
Hemiselulosa	26,12
Selulosa	21,37
Lignin	5,01

Kuat tarik dan elongasi dilakukan berdasarkan ASTM D-882 (Khalil *et al.*, 2017). Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1 x 15cm (A), lalu dijepit di kedua ujungnya, lalu ditarik pada kedua arah dengan kecepatan 50mm/menit hingga gaya maksimum (F maks). Panjang bioplastik setelah putus (C) dan panjang bioplastik mula-mula (D), rumus perhitungan:

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F \text{ maks}}{A} \quad \text{Elongasi (\%)} = \frac{C-D}{D} \times 100\%$$

Ketebalan bioplastik ditentukan menurut Sudhakar *et al.* (2020). Ketebalan bioplastik diukur menggunakan jangka sorong pada 5 titik yang berbeda, kemudian di rata-rata.

Uji ketahanan air bioplastik berdasarkan Ili Balqis *et al.* (2017). Bioplastik dipotong 2 x 2cm, lalu ditimbang (W1), kemudian direndam dalam cawan petri yang berisi 10 ml akuades selama 1 menit. Bioplastik diangkat dan diletakkan di atas kertas tisu hingga air terserap, kemudian berat akhir ditimbang (W).

$$\text{Air yang diserap (\%)} = \frac{W-W1}{W} \times 100\%$$

$$\text{Ketahanan air (\%)} = 100\% - \text{Air yang diserap (\%)}$$

Keburaman bioplastik ditentukan menggunakan luxmeter (Brandelero *et al.*, 2016). Nilai intensitas cahaya lingkungan diukur dengan luxmeter (lux i), kemudian bioplastik diletakkan di atas sensor luxmeter dan diukur intensitas cahaya yang melewatinya (lux f).

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

Laju transmisi uap air menggunakan metode Shojaee-Aliabadi *et al.* (2014). Bioplastik dipotong seukuran mulut botol dan dihitung luasnya (A), kemudian diletakkan di atas mulut botol yang telah diisi 15 ml akuades dan diikat erat. Botol kemudian diletakkan dalam desikator yang berisi silika gel yang telah dikeringkan selama 1,5 jam pada suhu 180°C. Botol dimasukkan dalam desikator dan didiamkan selama 24 jam (Δt) pada suhu ruang dan ditimbang (ΔW). Laju transmisi uap air dihitung dengan rumus:

$$\text{Transmisi uap air (g/24jam/m}^2\text{)} = \frac{\Delta W}{\Delta t \times A}$$

Gugus fungsional dalam bioplastik dianalisis dengan FTIR Thermo Scientific Nicolet IS10, detektor DTGS pada rentang bilangan gelombang 650-4000 cm^{-1} , resolusi 4 cm^{-1} , jumlah pemindaian 50, *beam splitter* KBr, dalam format transmisi, pada suhu ruangan (25°C), dan kelembaban 58%. Uji ini dilakukan pada limbah dan bioplastik limbah+gliserol 1%.

Permukaan bioplastik diamati dengan SEM. Potongan kecil bioplastik dikeringkan vakum selama 30 menit, dengan coating Au/Pt pada tekanan 3,2 Pa, dan dipindai dengan mikroskop

elektron SEM JEOL JSM-6510LA, pada suhu 25°C, kelembaban 55%. Uji ini dilakukan pada bioplastik limbah+gliserol 1%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

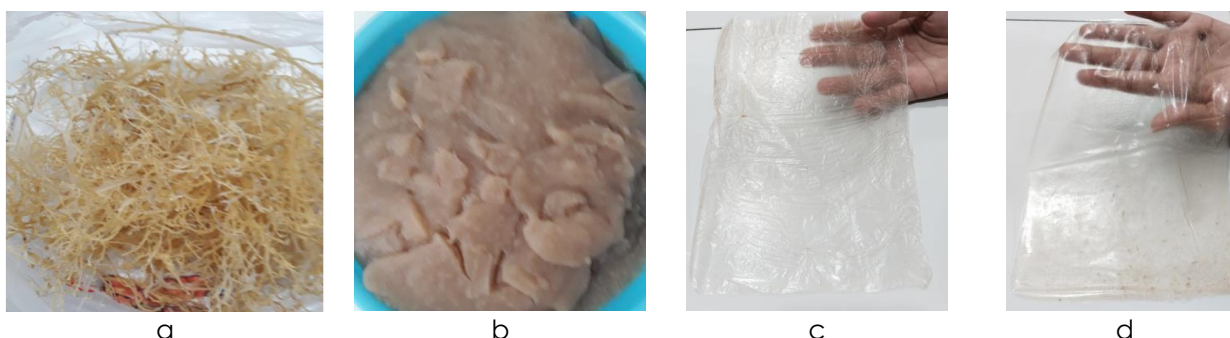
Secara umum semua bioplastik yang dihasilkan berbentuk lembaran transparan agak buram, tidak berwarna sampai sedikit coklat. Bioplastik limbah tanpa gliserol terasa lebih kering, berkerut, kasar dan mudah sobek. Permukaan bioplastik limbah dengan penambahan gliserol terasa lebih halus, kompak, seragam, lebih tebal dan lembab, karena gliserol tidak mudah menguap (titik didih 290°C) (gambar 1c, 1d). Gliserol menyebabkan penyusunan ulang struktur (*structural arrangement*) permukaan bioplastik dibandingkan biofilm kontrol dan mengurangi ikatan hidrogen serta gaya intermolekul antar rantai polimer selulosa dalam limbah sehingga fleksibilitas bioplastik meningkat (Gao *et al.*, 2017).

Ketebalan bioplastik berkisar antara 68 (kontrol) – 228µm (gliserol 4%), semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar gliserol. Penambahan gliserol berpengaruh terhadap ketebalan bioplastik ($p < 0,05$). Peningkatan ketebalan ini diduga karena molekul gliserol membentuk matriks dan mengisi ruang di antara rantai polimer selulosa dalam limbah (Sudhakar *et al.*, 2020). Ketebalan bioplastik dalam penelitian ini telah memenuhi *Japanese Industrial Standard* (<0,25mm).

Bioplastik tanpa gliserol menunjukkan nilai keburaman yang lebih tinggi ($0,22 \pm 0,02\%$), dibandingkan bioplastik dengan penambahan gliserol ($14 \pm 0,01\%$), atau bioplastik dengan penambahan gliserol lebih transparan dibandingkan bioplastik tanpa gliserol, meskipun bioplastik dengan penambahan gliserol lebih tebal daripada bioplastik tanpa gliserol (**Tabel 2**). Konsentrasi gliserol berpengaruh terhadap keburaman bioplastik ($p < 0,05$). Tingkat keburaman bioplastik dipengaruhi oleh limbah dekaragenan yang berwarna kecoklatan.

Konsentrasi gliserol mempengaruhi ketahanan air bioplastik ($p < 0,05$). Bioplastik tanpa gliserol memiliki ketahanan air tertinggi ($81 \pm 1,7\%$), sedangkan bioplastik dengan 4% gliserol terendah ($1 \pm 0,0\%$) (**Tabel 2**). Ketahanan air menurun dengan penambahan gliserol karena gliserol membentuk ikatan hidrogen dengan air, meningkatkan kelarutan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Arief *et al.* (2021), yang menemukan bahwa plastisizer meningkatkan kelarutan bioplastik. Berat molekul gliserol yang rendah memudahkan interaksi dengan polimer, meningkatkan afinitas terhadap air (Farhan & Hani, 2017). Sebaliknya, penambahan gliserol pada bioplastik campuran limbah *E. cottoni*-kitosan-CMC-tapioka, di mana penambahan gliserol justru meningkatkan ketahanan air (Hidayati *et al.*, 2019; Fauziah *et al.*, 2021).

Laju transmisi uap air bioplastik meningkat dengan penambahan gliserol ($p < 0,05$). Bioplastik tanpa gliserol memiliki transmisi uap terendah ($4,4 \times 10^{-4} \pm 3 \times 10^{-6}$ g/mm²/hari), sedangkan bioplastik dengan 4% gliserol tertinggi ($7,6 \times 10^{-4}$ g/mm²/hari). Transmisi uap air yang tinggi disebabkan oleh penurunan kerapatan polimer, mempermudah difusi air dan gas (Dewi *et al.*, 2017). Hidayat *et al.*,



Gambar 1. a) Rumput laut *K. alvarezii*, b) limbah ekstraksi karagenan, c) bioplastik tanpa gliserol, d) bioplastik dengan penambahan gliserol 1%

Tabel 2. Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Limbah Dekaragenan

Parameter	Konsentrasi gliserol (%)					Standar Mutu*
	0	1	2	3	4	
Keburaman (%)	0,22 ± 0,02 ^b	0,14 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	0,14 ± 0,01 ^a	-
Ketebalan (µm)	68 ± 6 ^a	118 ± 10 ^b	137 ± 20 ^b	151 ± 4 ^b	228 ± 25 ^c	<250
Ketahanan Air (%)	81 ± 1,7 ^a	23,7 ± 2,1 ^b	13,7 ± 0,6 ^c	4,7 ± 0,6 ^d	1,0 ± 0 ^e	≤70
Transmisi uap air(g/24jam/m ²)	4,4.10 ⁻⁴ ± 3.10 ^{-6a}	5,2. 10 ⁻⁴ ± 6.10 ^{-6 ab}	6,0. 10 ⁻⁴ ± 1.10 ^{-6bc}	6,6. 10 ⁻⁴ ± 1.10 ^{-6bc}	7,6. 10 ⁻⁴ ± 6.10 ^{-6 c}	<7
Kuat tarik (mpa)	6,5 ± 2,7 ^b	2,4 ± 0,1 ^a	0,9 ± 0,4 ^a	0,4 ± 0 ^a	0,3 ± 0 ^a	>0,39
Elongasi (%)	1,7 ± 0,7 ^{ab}	14,5 ± ,1 ^c	5,7 ± 3,2 ^b	1,0 ± 0,9 ^a	3,0 ± 1,4 ^{ab}	<10 - >50

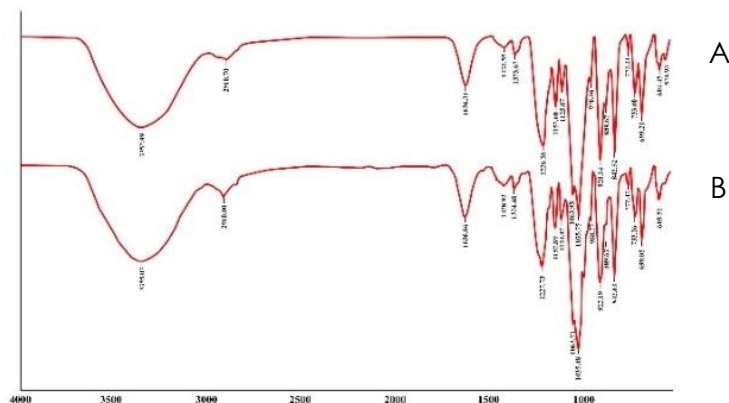
Keterangan : Data merupakan rata – rata dari tiga ulangan ± standar deviasi; Data yang diikuti dengan huruf superscript yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05); * = Japanese Industrial Standard

(2019), menyatakan area hidrofilik dan hidrofobik pada komponen bioplastik mempengaruhi nilai transmisi uap air. Semakin besar hidrofobisitas bioplastik, transmisi uap air semakin berkurang, sebaliknya semakin rendah hidrofobisitas, maka semakin tinggi nilai transmisi uap airnya. Transmisi uap air pada konsentrasi 1-3% gliserol telah memenuhi *Japanese Industrial Standard*, aplikasi untuk *food-packaging* diperlukan bioplastik dengan transmisi uap air yang rendah (Sudhakar et al., 2020).

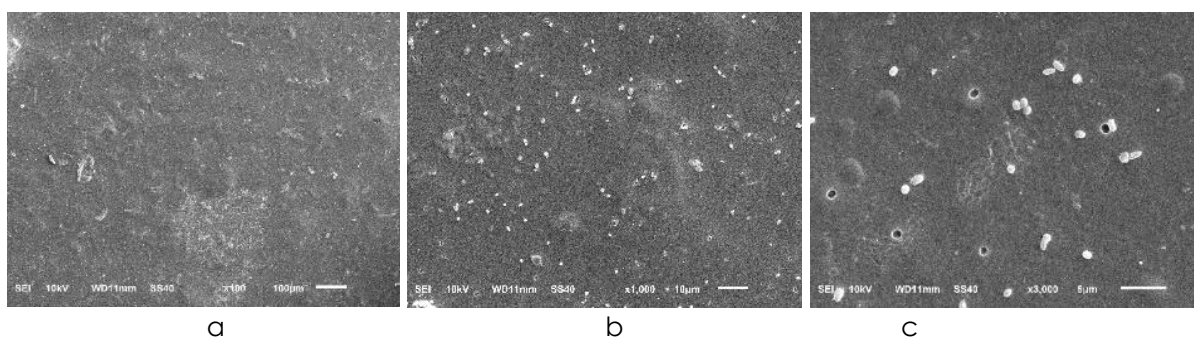
Penambahan gliserol menurunkan kuat tarik bioplastik (p<0,05). Bioplastik tanpa gliserol memiliki kuat tarik tertinggi (6,5 MPa), sedangkan dengan 4% gliserol terendah (0,3 MPa) (Tabel 2). Gliserol mengurangi kekuatan ikatan antar polimer selulosa, membuat bioplastik lebih fleksibel (Ben et al., 2022). Fauziyah et al., (2021) menyatakan bahwa bioplastik berbasis limbah memiliki sifat mekanik yang rendah, kurang elastis, dan rapuh. Kuat tarik film karagenan dari *K. alvarezii* tanpa plastisizer adalah 69,69 MPa, dan menunjukkan penurunan dengan bertambahnya konsentrasi plastisizer (Ili Balqis et al., 2017). Hidayati et al. (2019) juga melaporkan penambahan gliserol menurunkan kuat tarik biodegradable film dari selulosa limbah rumput laut *E. cottonii*. Penurunan kuat tarik bioplastik akibat penambahan gliserol diduga karena terjadinya diskontinuitas komponen penyusun limbah dekaragenan terutama selulosa, yang menyebabkan kurangnya transfer tegangan antar rantai polimer selulosa (Jumaidin et al., 2017). Semua bioplastik yang dihasilkan telah memenuhi *Japanese Industrial Standard* dengan standar kuat tarik yaitu minimal 3,92 MPa.

Elongasi bioplastik berfluktuasi dengan penambahan gliserol. Elongasi tertinggi pada bioplastik dengan 1% gliserol (14,5 ± 1,1%), sedangkan terendah pada 3% gliserol (1 ± 0,9%) (Tabel 2). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini berbeda dengan (Fauziyah et al., 2021), di mana penambahan gliserol 1.25% menghasilkan nilai elongasi 63.18% dan konsentrasi 5% menghasilkan nilai elongasi sebesar 79.58%. Penambahan gliserol 1,25% meningkatkan elongasi bioplastik berbasis selulosa 63,18%, sedangkan penambahan gliserol 5% meningkatkan elongasi hingga 79,58% (Hidayati et al., 2019). Secara umum, penambahan gliserol cenderung menurunkan kekuatan ikatan antar molekul selulosa dalam limbah dekaragenan sehingga fleksibilitas dan elongasi bioplastik cenderung meningkat (Ben et al., 2022). Penambahan pemlastis dapat meningkatkan elongasi dan membuat bioplastik lebih fleksibel, tetapi menurunkan kuat tarik (Khalil et al., 2017). Konsentrasi gliserol 1% memenuhi standar *Japanese Industrial Standard* dengan nilai elongasi tidak kurang dari 10%.

Spektra FTIR bioplastik terdapat puncak pada 3350an cm⁻¹ yang menunjukkan adanya vibrasi regangan gugus hidroksil (-OH). Puncak sekitar 2900cm⁻¹ berasal dari vibrasi regangan -C-H gugus metilen (-CH₂-) dan atau metil (-CH₃) (**Gambar 2**). Puncak khas sekitar 1035 cm⁻¹ disebabkan oleh regangan -C-O- anhidro glukosa. Puncak pada 1300 cm⁻¹ berasal dari vibrasi bengkok gugus metil (-CH₃). Puncak pada 920an dan 842 cm⁻¹ merupakan puncak khas 3,6-anhidro-D-galaktosa dan D-galaktosa-4-sulfat (Sudhakar et al., 2020). Pergeseran puncak OH pada spektrum FTIR menunjukkan interaksi komponen bioplastik melalui ikatan hidrogen (Perera et al., 2023). Puncak -OH bergeser ke



Gambar 2. Spektra FTIR bioplastik. (a). limbah tanpa gliserol, (b) bioplastik limbah+gliserol 1%



Gambar 3. SEM Permukaan Bioplastik limbah+gliserol 1%. (a) perbesaran 100x, (b) 1000x dan (c) 3000x

frekuensi lebih tinggi pada bioplastik dengan gliserol (3355 cm^{-1} tanpa gliserol menjadi 3357 cm^{-1} dengan 1% gliserol), menunjukkan pencampuran baik antara limbah dan gliserol (Jumaidin *et al.*, 2017).

Gambar hasil *scanning* SEM menunjukkan morfologi permukaan bioplastik yang kasar, namun tidak terjadi pemisahan fase atau robek (Gambar 3). Hal ini menunjukkan kompatibilitas yang baik antara limbah dengan gliserol, karena limbah dan gliserol memiliki karakter hidrofilik yang sama, sehingga terjadi adhesi yang baik. Selulosa, hemiselulosa, dan karagenan berperan penting dalam menentukan struktur permukaan bioplastik tergantung *plastisizer* yang digunakan (Ili Balqis *et al.*, 2017). Pada perbesaran 1000 dan 3000x menunjukkan adanya lubang-lubang dan titik-titik putih yang diduga berasal dari lignin yang terdapat dalam limbah atau oleh pengaruh mikroorganisme (jamur).

KESIMPULAN

Penambahan gliserol meningkatkan elongasi dan transpansi, namun menurunkan kuat tarik, ketahanan air dan transmisi uap air bioplastik limbah ekstraksi *K. alvarezii*. SEM menunjukkan bahwa limbah dapat berinteraksi dengan gliserol yang dibuktikan dengan tidak adanya patahan atau pembelahan/robekan. Hasil terbaik dicapai pada penambahan *plastisizer* gliserol 1%, ketahanan air 23,7%, laju transmisi uap air $5,2 \cdot 10^{-4}\text{g}/24\text{jam}/\text{m}^2$, kuat tarik 2,4 MPa, dan elongasi 14,5%. Bioplastik dapat diaplikasikan sebagai kemasan pangan dan nonpangan. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan dengan menggunakan *plastisizer* lain atau mencampur dengan bahan lain sehingga diperoleh bioplastik yang memenuhi standar mutu dan aplikasi komersial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh PNPB Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP dengan nomor kontrak : 57/UN7. F10/PP/II/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, M.D., Mubarak, A.S & Pujiastuti, D.Y. (2021). Cellulose Based Carrageenan Waste on Biodegradability and Mechanical Properties Bioplastic. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), p. 012013.
- Ben, Z.Y., Samsudin, H. & Yhaya, M.F. (2022). Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. *European Polymer Journal*, 175, p.111377.
- Brandelero, R.H., Brandelero, E.M., & Almeida, F.M. (2016). Biodegradable Film of Starch/PVOH/alginate in Packaging Systems for Minimally proceed lettuce (*Lactuca sativa* L). *Ciencia e Agrotecnologia*, 40(5), 510 - 521 .
- El Achaby, M., Kassaba, Z., Aboukasa, A., Gaillardc, C. & Barakata, A. (2018). Reuse of red algae waste for the production of cellulose nanocrystals and its application in polymer nanocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 681-691.
- 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 – 56.
- Fauziah, S.N., Mubarak, A. S., & Pujiastuti, D.Y. (2021). Application of glycerol on bioplastic based carrageenan waste cellulose on biodegradability and mechanical properties bioplastic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 679(1), p.012005.
- Feng, X., Meng, X., Zhao, J., Miao, M., Shi, L., Zhang, S., & Fang, J., (2015). Extraction and Preparation of Cellulose nanocrystals from Dealginate Kelp Residue : Structure and Morphological Characterization. *Cellulose*, 22, 1763-1772.
- Gao, C., Pollet, E. & Averous, L. (2017). Propertise of Glycerol-Plastisized Alginate film Obtained by Thermo-mechanical Mixing. *Food Hydrocolloids*, 63, 414-420.
- Hidayati, S., Zulferiyenni, & 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.
- Ibrahim, N.I., Shahar, F.S., Sultan, M.T.H., Shah, A.U.M., Safri, S.N.A., & Mat Yazik, M.H. (2021). Overview of bioplastic introduction and its applications in product packaging. *Coatings*. 11(11), p.1423.
- Ili Balqis, A.M., Nor Khaizura, M.A.R., Russly, A.R. & Nur Hanani, Z.A. (2017). Effects of Plasticizers on the Physicochemical Properties of Kappa-Carrageenan Films Extracted from *Eucheuma cottonii*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 103. 721-732.
- Jumaidin, R., Sapuana, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R., & Sahari, J. (2017). Effect of seaweed on mechanical, thermal, and biodegradation properties of thermoplastic sugar palm starch/agar composites. *International Journal of Biological Macromolecules* 99, 265–273
- Khalil, A., Tye, Y.Y., Saurabh, C.P., Leh, C.P., Lai, T.K, Chong, E.W.N., Fazita, M.R.N., Hafidz, J.M., Banerjee, A., & Syakir, M.I. (2017). Biodegradable Polymer Films from Seaweed Polysaccharides : A Review on Cellulose as A Reinforcement Material. *Express Polymer Letters*, 11(4), 244-265.
- Lim, C., Yusoff, S., Lim, P.E., & Ching, Y.C. (2021). Bioplastic Made From Seaweed Polysaccharides With Green Production Methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 19(5), 05895.
- Meinita, M.D.N., Marhaeni, B., Jeong, G.T., & Hong, Y.K. (2019). Sequential acid and enzymatic hydrolysis of carrageenan solid waste for bioethanol production: a biorefinery approach. *Journal of Applied Phycology*, 31, 2507-2515.
- Perera, K.Y., Jaiswal, A.K., & Jaiswal, S. (2023). Extending cheese shelf-life using eco-friendly sodium alginate-gelatin films reinforced with nanoclay. *Food Bioscience*, 56, p.103304.
- Rahmi, D., Marpaung, M.T., Aulia, R. D., Putri, S.E., Aidha, N.N. & Widjajanti, R. (2020). Ekstraksi dan Karakterisasi Mikroselulosa dari Rumput Laut Coklat *Sargassum* sp. Sebagai Bahan Penguat Bioplastik Film. *Jurnal Kimia Kemasan*, 42(2), 57-65
- Sanyang, M.L., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R., & Sahari, J. (2016). Recent developments in sugar palm (*Arenga pinnata*) based biocomposites and their potential industrial applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 533-549.

- Sedayu, B.B., Cran, M.J., & Bigger, S.W. (2018). Characterization of semi-refined carrageenan-based film for primary food packaging purposes. *Journal of Polymers and the Environment*, 26, 3754-3761.
- Sedayu, B.B., Cran, M.J., & Bigger, S.W. (2019). A review of property enhancement techniques for carrageenan-based films and coatings. *Carbohydrate polymers*, 216, 287-302.
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Hosseini, S.M., & Khaksar, R. (2014). Characterization of κ -carrageenan films incorporated plant essential oils with improved antimicrobial activity. *Carbohydrate Polymers*, 101, 582–591.
- Suderman, N., Isa, M.I.N., & Sarbon, N.M. (2018). The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, 24(11), p.119.
- Sudhakar, M.P., Magesh Peter, D. & Dharani, G. (2020). Studies on the development and characterization of bioplastic film from the red seaweed (*Kappaphycus alvarezii*). *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 33899–33913.
- Sudharsan K., Mohan, C.C., Babu, P.A.S., Archana, G., Sabina, K., Sivarajan, M. & Sukumar, M. (2015). Production and Characterization of Cellulose Reinforced Starch film, *International Journal of Biological Macromolecules*, 83, 385–395.
- Thiruchelvi, R., Das, A., & Sikdar, E. (2021). Bioplastics as better alternative to petro plastic. *Materials Today: Proceedings*. 37, 1634–1639.
- Wadi, A., Ahmad, A., Tompo, M., Hasyim, H., Tuwo, A., Nakajima, M. & Karim, H. (2019). Production of Bioethanol from Seaweed *Gracilaria Verrucosa* and *Euचेuma cottoni* by Simultaneous Saccharification Methods. *Journal of Physics : Conference Series*, 1341(3), p. 032031