

## Pengembangan Dan Karakterisasi Bioplastik Karagenan-Alginat-Gliserol Dengan Perlakuan Kalsium Klorida

**Ali Ridlo\*, Sri Sedjati, Endang Supriyantini†, Dinda Ayuniar Zanjabila**  
*Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro.*  
*Jl. Prof. Jacub Rais, Kampus Undip Tembalang, Semarang, 50275 Indonesia*  
 Email : aliridlo26@gmail.com

### Abstrak

Material biopolimer tunggal seperti alginat dan karagenan tidak memiliki sifat fisiko-kimia dan mekanik yang mencukupi untuk digunakan sebagai produk spesifik seperti bioplastik, sehingga diperlukan kombinasi agar diperoleh hidrogel yang lebih kuat dan tahan air. Ion  $\text{Ca}^{2+}$  berperan sebagai *crosslinker* polimer bermuatan negative (alginat dan karagenan) serta meningkatkan struktur jaringan, sifat reologi dan hidrofobitasnya, dengan cara berikatan silang dengan gugus karboksil alginat dan gugus sulfat karagenan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perendaman dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  terhadap karakteristik (ketebalan, keburaman, ketahanan air, biodegradabilitas, kuat tarik dan elongasi) bioplastik alginat-karagenan-gliserol. Alginat diperoleh dari ekstraksi *Sargassum* sp., sedangkan karagenan diperoleh dari ekstraksi rumput laut *K. alvarezii* yang berasal dari Jepara, Jawa Tengah. Bioplastik dibuat dengan cara mencampur 1,5 g karagenan dan 0,5 g alginat dalam 146 mL akuades pada suhu  $90^\circ\text{C}$  selama 45 menit, lalu ditambahkan gliserol 2 mL pada suhu  $70^\circ\text{C}$  dan dihomogenkan selama 15 menit, kemudian dicetak pada cetakan gelas dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $50^\circ\text{C}$  selama 18 jam. Setelah itu bioplastik dilepas dari cetakannya dan direndam dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  (1%; 2%; 3% dan 4%) selama 5 menit lalu dikeringkan pada suhu ruang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perendaman dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  meningkatkan secara signifikan ( $p < 0,05$ ) kuat tarik, ketahanan air, dan opacity dan menurunkan ketebalan, elongasi, dan biodegradabilitas bioplastik alginat-karagenan-gliserol. Ketebalan dan kuat tarik bioplastik alginat-karagenan-gliserol yang dihasilkan telah memenuhi *Japanese Industrial Standard*.

**Kata Kunci :** Bioplastik, Karagenan, Alginat, Kalsium Klorida, *Crosslink*

### Abstract

#### *Development and Characterization of Carrageenan-Alginate-Glycerol Bioplastic With Calcium Chloride Treatment*

*Single biopolymer materials such as alginate and carrageenan do not have sufficient physico-chemical and mechanical properties to be used as specific products such as bioplastics, so a combination is needed to obtain stronger and water-resistant hydrogels. The  $\text{Ca}^{2+}$  ion acts as a crosslinker for negatively charged polymers (alginate and carrageenan) and improves the network structure, rheological properties and hydrophobicity, by cross-linking with the carboxyl group of alginate and the sulfate group of carrageenan. This study aims to determine the effect of immersion in  $\text{CaCl}_2$  solution on the characteristics (thickness, opacity, water resistance, biodegradability, tensile strength and elongation at break) of alginate-carrageenan-glycerol bioplastic. Alginate was obtained from the extraction of *Sargassum* sp., while carrageenan was obtained from the extraction of *K. alvarezii* seaweed from Jepara, Central Java. Bioplastics were made by mixing 1.5 g of carrageenan and 0.5 g of alginate in 146 mL of distilled water at  $90^\circ\text{C}$  for 45 minutes, then adding 2 mL of glycerol at  $70^\circ\text{C}$  and homogenized for 15 minutes, then molded on a glass mold and dried in the oven at  $50^\circ\text{C}$  for 18 hours. after that, the bioplastic was removed from the mold and immersed in a solution of  $\text{CaCl}_2$  (1%; 2%; 3% and 4%) for 5 minutes and then dried at room temperature. The results showed that immersion in  $\text{CaCl}_2$  solution significantly increased ( $p < 0.05$ ) tensile strength, water resistance, and opacity and decreased thickness, elongation, and biodegradability of alginate-carrageenan-glycerol bioplastics. The thickness and*

*tensile strength of the alginate-carrageenan-glycerol bioplastic produced complies with the Japanese Industrial Standard.*

**Keywords:** *Bioplastic, Carrageenan, Alginate, Calcium Chloride, Crosslink*

## PENDAHULUAN

Rumput laut merupakan sumber biomaterial penting berbasis polisakarida. Terdapat 3 jenis polisakarida dari rumput laut yang telah dikembangkan secara komersial yaitu agar, alginat dan karagenan. Alginat adalah polisakarida yang diperoleh dari alga coklat (Phaeophyta), merupakan kopolimer linier asam-D-manuronat dan asam-L-Guluronat yang tersusun dengan pola berkelompok (*blockwise*) sepanjang rantai polimer. Kelompok homopolimer asam manuronat (blok M) dan asam guluronat (blok G) diselingi dengan M dan G (blok MG). Perbandingan unit monomer G/M tergantung pada jenis, asal, umur, dan waktu panen rumput laut (Gao *et al.*, 2017). Alginat dapat membentuk lapisan film yang kuat, tetapi resistensinya terhadap air relatif rendah karena tingginya kandungan gugus hidroksil (-OH).

Karagenan merupakan nama generik polisakarida yang dihasilkan oleh alga merah (Rhodophyta). Karagenan termasuk dalam kelompok hidrokoloid linier galaktan sulfat, yang tersusun dari rangkaian  $\beta$ -D-galaktopiranososa ( $\beta$ -Gal, unit G) yang terikat pada posisi C<sub>3</sub> dengan  $\alpha$ -D-galaktopiranososa ( $\alpha$ -Gal, unit D) yang terikat pada posisi C<sub>4</sub>. Unit D kadang juga terdapat dalam bentuk 3,6-anhidro- $\alpha$ -D-galaktopiranososa (anGal, unit A) yang terikat membentuk unit disakarida penyusun rantai polimer karagenan. Karagenan dikelompokkan berdasarkan kadar dan letak gugus sulfat, serta keberadaan jembatan 3,6-anhidro pada residu galaktosa yang terikat pada C<sub>4</sub> (Paula *et al.*, 2015). Gel karagenan dapat membentuk lapisan tipis sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioplastik (Farhan dan Hani, 2017), yaitu polimer seperti plastik konvensional yang disusun dari bahan alami seperti amilum, pati, kitosan, lignin, karet, gelatin, protein, pektin, lilin, dan asam lemak. Bioplastik juga bisa dibuat dari poliester alifatik seperti polikaprolakton (PCL), poli- $\beta$ -hidroksi butirat (PHB), polibutilena suksinat (PBS) dan poli asam laktat (PLA). Sampai saat ini, bioplastik belum memiliki sifat mekanik yang sama dengan plastik sintesis sehingga mengurangi aplikasinya.

Material biopolimer tunggal seperti alginat dan karagenan tidak memiliki sifat mekanik (kuat

Tarik dan elongasi) yang mencukupi sehingga sulit digunakan untuk produk spesifik. Bioplastik karagenan dan alginat tunggal bersifat transparan, tidak beracun, mudah didegradasi di alam, namun kaku dan rapuh. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan mengkombinasi dengan polimer lain seperti amilum, selulosa, CMC, pati, monmorilonit, kitosan, dan CaCl<sub>2</sub> (Khalil *et al.*, 2017) maupun logam polivalen sebagai *crosslinker*. Kombinasi polimer dapat mengubah mikrostruktur campuran gel yang dihasilkan sehingga dapat meningkatkan sifat fisika kimianya. Penambahan karagenan ke dalam gel alginat mampu memperkuat sifat mekanik dan stabilitas polimer, karena karagenan memiliki muatan positif pada gugus sulfatnya, yang dapat membentuk gel dan film yang baik serta kuat tarik yang tinggi (Annisa *et al.*, 2021)

Elongasi bioplastik dapat diperbaiki dengan penambahan pemlastis (*plasticizer*) namun akan menurunkan kuat tarik dan modulus Young. Perubahan sifat fisik ini juga dipengaruhi oleh ratio G/M alginat, viskositas, dan metode ekstraksi (Gao *et al.*, 2017). Konsentrasi gliserol dan sorbitol 25-30% mampu meningkatkan kuat tarik dan elongasi bioplastik karagenan, kelarutan dan permeabilitas uap air karena terjadinya modifikasi struktur menjadi kurang rapat (Farhan & Hani, 2017). Penambahan  $\kappa$ -karagenan mampu meningkatkan resistensi air dan kuat tarik, sedangkan alginat membentuk bioplastik menjadi lebih seragam, homogen dan transparan (Paula *et al.*, 2015).

Hidrofobisitas alginat dan karagenan dapat ditingkatkan dengan penambahan logam polivalen. Larutan alginat cepat membentuk gel dengan adanya kation logam polivalen seperti Ca<sup>2+</sup>, Mb<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> dan Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>. Difusi ion-ion polivalen ke dalam larutan alginat memacu terjadinya pertukaran ion, di mana alginat larut air mengganti pasangan ionnya dengan Ca<sup>2+</sup>. (Rhim, 2004). Ion Ca<sup>2+</sup> bereaksi dengan alginat membentuk gel yang kuat dan sukar larut dalam air. Perlakuan dengan CaCl<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan menambahkan secara langsung larutan CaCl<sub>2</sub> ke dalam campuran polimer atau dengan merendam bioplastik ke dalam larutan CaCl<sub>2</sub> (Rhim, 2004). Bioplastik alginat dengan *crosslinker* CaCl<sub>2</sub>

memiliki ketahanan air yang paling baik dibanding dengan *crosslinker*  $Zn^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  (Liling *et al.*, 2016). Afinitas sodium alginat terhadap beberapa kation divalen adalah  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Co^{2+}$  (Bekin *et al.*, 2014).  $CaCl_2$  menghasilkan karakteristik bioplastik yang lebih baik dibandingkan  $BaCl_2$  dan  $ZnCl_2$  (Liling *et al.*, 2016). Ion  $Ca^{2+}$  berperan sebagai *crosslinker* polimer bermuatan negative seperti alginat dan karagenan serta meningkatkan jaringan struktur yang terbentuk, sifat reologi dan hidrofobitasnya. Kation divalen membentuk ikatan silang dengan gugus sulfat. Ikatan ion dan asosiasi intermolekular tersebut meningkatkan kestabilan rantai polimer karagenan (Sariyer *et al.*, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisiko-kimia bioplastik alginat-karagenan hasil ekstraksi rumput laut *Sargassum* sp. Dan *K. alvarezii*. dari Jepara dengan *plastisizer* gliserol dengan menggunakan *crosslinker*  $CaCl_2$ .

## MATERI DAN METODE

Materi penelitian ini adalah rumput laut kering *K. alvarezii*. dan *Sargassum* sp. yang diperoleh dari Karimunjawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Alat yang digunakan diantaranya blender, *hot plate stirrer*, *furnace*, oven, *Texture Analyzer*, desikator, neraca analitik, viscosimeter, luxmeter, spektrometer FTIR, jangka sorong, termometer, saringan kain, cetakan dari kaca dan beberapa alat gelas. Bahan yang digunakan antara lain : akuades, isopropil alkohol (IPA), KOH, gliserol,  $CaCl_2$ ,  $NaOCl_2$ , HCl, NaOH, dan  $Na_2CO_3$ .

### Preparasi Rumput Laut

Rumput laut kering direndam dalam air tawar selama 24 jam, lalu dicuci hingga bersih menggunakan air tawar mengalir untuk menghilangkan garam dan kotoran yang menempel, kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama 3 hari.

### Ekstraksi Karagenan dari Rumput Laut *K. alvarezii*

Ekstraksi karagenan mengacu pada metode Distantina *et al.* (2012), yang dimodifikasi rasio bahan, waktu perendaman dan ekstraksi serta 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  $90^\circ C$  selama 3 jam, lalu disaring menggunakan kain belacu. Filtrat dituang ke dalam isopropil alkohol dengan perbandingan filtrat : isopropil alkohol = 1:3 (v/v) hingga membentuk serat, lalu disaring dan dikeringkan di bawah sinar matahari, kemudian diblender dan disaring hingga menjadi serbuk. Alginat yang diperoleh diuji rendemen, kadar air, kadar abu, dan viskositasnya.

### Ekstraksi Alginat dari Rumput Laut *Sargassum* sp.

Ekstraksi alginat mengacu pada metode Husni *et al.* (2012). Sebanyak 100 g *Sargassum* sp. direndam dalam HCl 1% selama 1 jam kemudian dicuci dengan air tawar hingga pH netral, selanjutnya direndam dalam 3 liter larutan  $Na_2CO_3$  3% pada suhu  $60-70^\circ C$  selama 2 jam, lalu disaring menggunakan kain belacu. Larutan  $NaOCl$  4% sebanyak 1L (1:2 v/v) ditambahkan dan didiamkan selama 30 menit hingga berwarna kuning gading. Konversi asam alginat dilakukan dengan penambahan HCl 5% sambil diaduk hingga terbentuk gel alginat, lalu ditambahkan NaOH 1% hingga pH netral, kemudian ditambahkan isopropil alkohol 3 liter (1:3 v/v) hingga membentuk serat, lalu disaring dan dijemur di bawah sinar matahari hingga kering, selanjutnya diblender dan disaring hingga menjadi serbuk. Alginat yang dihasilkan diuji rendemen, kadar air, kadar abu, dan viskositasnya.

### Analisis Rendemen

Rendemen dihitung berdasarkan prosedur SNI-19-1705-2000, dengan menimbang berat awal rumput laut kering ( $W_0$ ) dan berat karagenan yang dihasilkan ( $W_t$ ).

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{W_t}{W_0} \times 100\%$$

### Analisis Kadar Air

Analisis ini dilakukan menggunakan prosedur SNI-01-2354.2-2006. Cawan porselen kosong dikeringkan dalam oven selama 2 jam, kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit. Cawan porselen ditimbang dan dicatat massanya (A). Sampel karagenan sebanyak 1,5 g dimasukkan ke dalam cawan porselen (B), dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu  $105^\circ C$ . Cawan porselen dipindahkan ke dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang (C).

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{B-A}{B-C} \times 100\%$$

### Analisis Kadar Abu

Kadar abu ditentukan menggunakan prosedur SNI-01-2354.1- 2006. Cawan porselen kosong dikeringkan dalam oven selama 2 jam, lalu dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang (A). Sampel karagenan diletakkan dalam cawan porselen dan bakar dalam *furnace* selama 5 jam pada suhu 500°C hingga diperoleh abu berwarna putih. Suhu *furnace* diturunkan hingga suhu  $\pm 40^\circ\text{C}$ , dan cawan porselen dipindahkan ke dalam desikator selama 30 menit, selanjutnya ditimbang (B).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{B-A}{\text{berat sampel (g)}} \times 100\%$$

Gugus fungsional yang terdapat dalam serbuk alginat dan karagenan dianalisis dengan spektrometer FTIR

### Pembuatan Bioplastik

Pembuatan bioplastik mengacu pada Lim *et al.* (2018); dan Langit *et al.* (2021), dengan modifikasi pada komposisi bahan dan lama waktu penghomogenan. Akuades sebanyak 146,5 mL dipanaskan menggunakan *hot plate stirrer* pada suhu 90°C, kemudian dimasukkan 1,5 g karagenan dan 0,5 g alginat. Lalu dihomogenkan lagi dengan diaduk selama 45 menit pada kecepatan  $\pm 1000$  rpm. Setelah 45 menit, suhu diturunkan menjadi 50°C, dan ditambahkan 2mL gliserol, dihomogenkan kembali selama 15 menit. Setelah itu campuran disaring dengan kain belacu, dituang ke dalam plat kaca dandiratakan menggunakan silinder kaca, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 18 jam. Setelah kering, bioplastik dilepaskan dari cetakan kaca kemudian direndam dalam larutan *crosslinker* CaCl<sub>2</sub> (1, 2, 3, dan 4%) selama 5 menit (Roh dan Shin, 2006; Mazni *et al.* 2021), selanjutnya dikeringkan pada suhu ruang selama 6 jam.

### Uji Mikrostruktur Bioplastik

Uji ini dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam bioplastik, mikrostruktur dan interaksi antar komponen penyusunnya.

### Uji Kuat Tarik dan Elongasi Bioplastik

Sampel bioplastik dipotong dengan ukuran 1 x 15cm, lalu dijepit di kedua ujungnya dan diuji menggunakan alat *Texture Analyzer Lloyd*.

$$\text{Kuat tarik} = \frac{F \text{ maks}}{A}$$

Keterangan : F maks = Gaya maksimum (N); A = Luas permukaan bioplastik (cm<sup>2</sup>)

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{A-B}{B} \times 100\%$$

Keterangan : A = Panjang bioplastik setelah putus; B = Panjang bioplastik mula-mula

### Uji Ketebalan

Uji ini dilakukan menurut Yupa *et al.* (2021). Ketebalan bioplastik diukur menggunakan jangka sorong pada 5 titik yang berbeda, kemudian di rata-rata.

### Uji Ketahanan Air

Ketahanan air bioplastik ditentukan mengacu pada Anggarini *et al.* (2013). Bioplastik dipotong 2 x 2cm, lalu ditimbang (W<sub>1</sub>), 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).

$$\text{Air yang diserap (\%)} = \frac{W-W_1}{W} \times 100\%$$

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

### Uji Biodegradabilitas

Uji ini dilakukan menggunakan metode *Soil Burial Test* (Anggarini *et al.*, 2013). Sampel bioplastik dipotong 2 x 2cm, dan dimasukkan ke dalam desikator selama 24 jam, kemudian ditimbang (W<sub>1</sub>). Sampel dipendam di dalam tanah pada kedalaman 50 mm selama 6 hari, setelah itu diambil dan dicuci menggunakan akuades, kemudian dikeringkan dengan tisu dan dikeringkan di dalam desikator selama 24 jam, selanjutnya ditimbang (W<sub>2</sub>). Berat hilang bioplastik dihitung dengan rumus :

$$\text{Biodegradabilitas (\%)} = \frac{W_1-W_2}{W_1} \times 100\%$$

### Uji Keburaman (Opacity)

Keburaman bioplastik ditentukan menggunakan luxmeter menurut 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).

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

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Alginat yang dihasilkan dari ekstraksi *Sargassum* sp. berbentuk serbuk, berwarna putih gading, sedangkan karagenan hasil ekstraksi *K. alvarezii* berbentuk serbuk, berwarna putih kecoklatan. Rendemen, kadar air, kadar abu dan viskositas alginat dan karagenan ditampilkan pada Tabel 1.

Rendemen alginat hasil ekstraksi rumput laut *Sargassum* sp. adalah  $21,53 \pm 1,36\%$ , dan telah memenuhi standar *Food Chemical Codex* (FCC 2004) yaitu  $>18\%$ . Diduga metode ekstraksi yang digunakan berpengaruh terhadap rendemen. Metode jalur kalsium alginat dipilih karena menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibanding metode ekstraksi jalur asam alginat (Husni *et al.*, 2012). Kadar air alginat belum memenuhi standar mutu kadar air menurut *Food Chemical Codex* (FCC 2004) yaitu  $<15\%$ , diduga karena proses pengeringan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari langsung kurang optimal. Pengeringan dengan oven menghasilkan kadar air yang rendah, antara  $10-12\%$  (Sukma *et al.*, 2017). Kadar abu alginat belum memenuhi standar mutu menurut *Food Chemical Codex* (FCC 2004) yaitu  $18-27\%$ . Perendaman dengan HCl sebelum proses ekstraksi terbukti kurang efektif mengurangi kandungan mineral alginat (Darmawan *et al.*, 2006). Penggunaan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  diduga juga berpengaruh terhadap kadar abu, semakin tinggi konsentrasi  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  maka kadar abunya akan meningkat pula (Tambunan *et al.*, 2013). Hal ini diduga karena sisa ion  $\text{CO}_3^{2-}$  dapat membentuk garam yang mengendap seperti  $\text{CaCO}_3$ . Viskositas alginat yang dihasilkan masih di bawah standar mutu yang ditentukan oleh *Food Chemical Codex* (FCC 2004) yaitu  $>27$  cP. Viskositas dipengaruhi oleh kemurnian, kadar abu dan panjang rantai polimer alginat. Semakin panjang rantai polimer alginat, semakin besar berat molekulnya, sehingga viskositasnya juga bertambah (Laksanawati *et al.*, 2017).

Rendemen karagenan hasil ekstraksi  $100$  g *K. alvarezii* sebesar  $30,33 \pm 4,73\%$ , sudah memenuhi baku mutu menurut Departemen Perdagangan (1989) yaitu  $>25\%$ . Rendemen dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan, ekstraksi dengan akuades menghasilkan rendemen lebih tinggi daripada pelarut alkali (Distantina *et al.*, 2010). Kadar air karagenan sebesar  $15,55 \pm 0,39\%$ , belum memenuhi standar mutu kadar air yang ditetapkan oleh *Food and Agricultural Organization* (FAO 2007) yaitu  $<12\%$ , ini diduga karena proses pengeringan yang kurang lama. Pengeringan karagenan lebih baik dilakukan dalam oven pada suhu  $80^\circ\text{C}$  (Hudi *et al.*, 2017). Kadar abu karagenan sebesar  $21,84 \pm 1,58\%$ , telah memenuhi standar mutu menurut FAO (2007) yaitu antara  $15-40\%$ . Kadar abu karagenan berasal dari mineral seperti Na, K dan Mg. Viskositas alginat sebesar  $27,53 \pm 2,36$  cP, telah memenuhi standar mutu menurut FAO (2007) yaitu  $> 5$  cP. Viskositas berkorelasi dengan berat molekul karagenan, semakin tinggi berat molekul, semakin tinggi pula viskositas karagenan. Suhu saat ekstraksi berpotensi menurunkan viskositas karagenan karena ikatan glikosida yang menghubungkan antar monomer penyusun alginat terputus (Harumarani *et al.*, 2016).

Spektra FTIR Alginat dan karagenan (Gambar 1) menunjukkan beberapa puncak transmitansi yang umum. Puncak lebar antara  $3200-3500$   $\text{cm}^{-1}$  berasal dari vibrasi *stretching* gugus O-H (hidroksil) bebas maupun terikat, membentuk ikatan hidrogen di dalam maupun antar molekul (Pascalau *et al.*, 2012). Puncak antara  $2817-2950$   $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi *stretching* ikatan  $\text{C}(\text{sp}^3)\text{-H}$ . Puncak pada bilangan gelombang  $1062-1084$   $\text{cm}^{-1}$  sesuai dengan vibrasi *stretching* C-O-C (eter siklik) (Pascalau *et al.*, 2012). Puncak pada  $1026,31$   $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan C-O-C ikatan glikosida (Paula *et al.*, 2015). Spektra alginat menunjukkan adanya puncak kuat pada  $1599,7$   $\text{cm}^{-1}$  yang berasal dari vibrasi *stretching* asimetri gugus  $\text{-COO}^-$  atau dari gugus  $\text{C=O}$  karbonil yang overlap dengan vibrasi  $\text{-COO}^-$ .

**Tabel 1.** Kualitas Alginat dan Karagenan Hasil Ekstraksi Rumput Laut

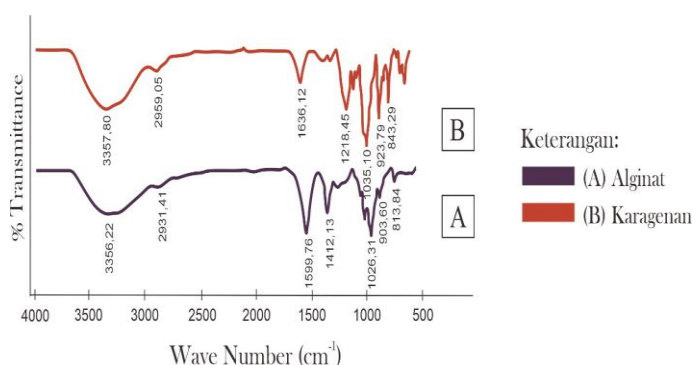
Parameter	Alginat	Karagenan
Rendemen (%)	$21,53 \pm 1,36$	$30,33 \pm 4,73$
Kadar Air (%)	$16,00 \pm 0,67$	$15,55 \pm 0,39$
Kadar Abu (%)	$35,32 \pm 1,34$	$21,84 \pm 1,58$
Viskositas (cP)	$2,10 \pm 0,55$	$27,53 \pm 2,36$

Puncak pada  $1412,13\text{cm}^{-1}$  menunjukkan vibrasi *stretching* simetri gugus  $-\text{COO}^-$  (Pascalau *et al.*, 2012), meskipun mungkin juga berasal dari deformasi ikatan C-OH, karena juga muncul pada spektra karagenan ( $1425,97\text{cm}^{-1}$ ). Sidik jari manuronat terlihat pada  $813,84\text{cm}^{-1}$  dan guluronat pada  $1026,31\text{cm}^{-1}$  overlap dengan puncak ikatan glikosida.

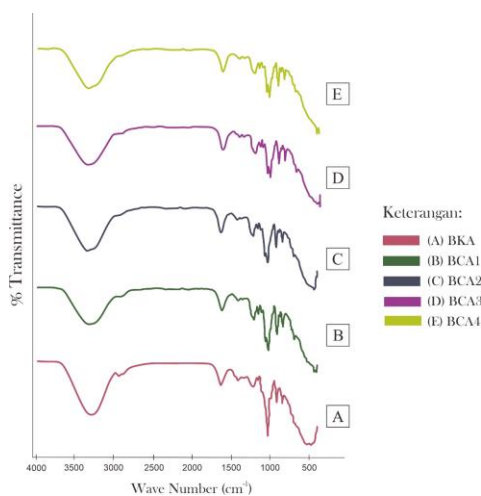
Karagenan memiliki puncak khas sekitar  $121545\text{cm}^{-1}$  ( $1218,45\text{cm}^{-1}$ ) yang berasal dari vibrasi *stretching* asimetri gugus  $\text{O}=\text{S}=\text{O}$  (Pascalau *et al.*, 2012), sedangkan vibrasi *stretching* asimetrinya terlihat pada  $1155,94\text{cm}^{-1}$ . Puncak pada bilangan gelombang  $843,29\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus sulfat pada posisi  $\text{C}_4$  pada cincin galaktosa (Pereira *et al.*, 2009). Spektra FTIR karagenan menunjukkan puncak-puncak spesifik seperti pada  $1155\text{cm}^{-1}$  dari vibrasi *stretching* asimetri C-O-C,  $1062\text{cm}^{-1}$  untuk *stretching* asimetri S-O, dan  $923,79\text{cm}^{-1}$  berasal dari *stretching* C-O-C 3,6-anhidrogalaktosa. Puncak pada  $1636,12\text{cm}^{-1}$  diduga berasal dari

vibrasi C=O karbonil pada struktur rantai terbuka monosakarida ujung polimer karagenan. Spektra FTIR alginat dan karagenan menunjukkan tidak terdapat komponen lain, misalnya pigmen dalam kedua bahan tersebut.

Spektra FTIR bioplastik menunjukkan gabungan spektra alginat dan karagenan (Gambar 2), namun lebih mirip spektra karagenan karena komposisinya yang lebih banyak dibanding alginat (3:1). Intensitas puncak bioplastik pada bilangan gelombang sekitar  $3300\text{cm}^{-1}$  lebih tinggi daripada alginat dan karagenan yang menunjukkan bertambahnya gugus  $-\text{OH}$  yang berasal dari gabungan keduanya dan gliserol, namun intensitas puncak tersebut berkurang jika konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  bertambah, diduga karena  $\text{CaCl}_2$  menghalangi pembentukan ikatan hidrogen antara rantai polimer alginat maupun karagenan (Gao *et al.*, 2017). Spektra FTIR bioplastik alginat-karagenan-gliserol menunjukkan tidak terjadi reaksi kimia antar komponen penyusun bioplastik yang ditandai tidak adanya puncak baru.



Gambar 1. Spektra FTIR (A) Alginat dari *Sargassum* sp.; (B) Karagenan dari *K. alvarezii*

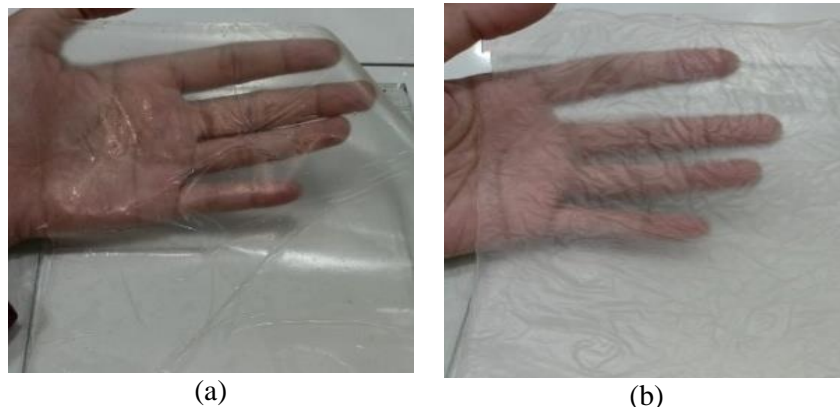


Gambar 2. Spektra FTIR Bioplastik Alginat-Karagenan-Gliserol dengan Perlakuan  $\text{CaCl}_2$   
 Keterangan: (A) Kontrol; (B)  $\text{CaCl}_2$  1%; (C)  $\text{CaCl}_2$  2%; (D)  $\text{CaCl}_2$  3%; (E)  $\text{CaCl}_2$  4%;

Pembentukan gel alginat dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$  berlangsung sangat cepat sehingga campuran tidak bisa dituang dan dicetak. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan dengan cara merendam lembaran bioplastik ke dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  (Rhim, 2004). Secara visual, bioplastik kontrol lebih transparan, fleksibel dan permukaannya lebih halus dibandingkan bioplastik yang direndam dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  yang cenderung kasar dan buram (Gambar 3). Bioplastik yang direndam larutan  $\text{CaCl}_2$  lebih kasar permukaannya dan tidak homogen karena konsentrasi  $\text{Ca}^{2+}$  cenderung lebih tinggi di permukaan daripada bagian dalam (Annisa *et al.*, 2021).

Alginat dapat membentuk ikatan hidrogen dengan karagenan melalui interaksi molekuler melalui gugus karboksil, hidroksil dan eter. Mikrostruktur gel yang dibentuk dari kombinasi polimer dapat berbeda dengan gel tunggal, yang berakibat pada perubahan sifat fisika kimia campuran seperti viskositas, kuat tarik, elongasi,

hidrofobisitas, dll. Keburaman bioplastik alginat-karagenan-glisierol berkisar antara 9,49-14,04% (Tabel 1). Keburaman terendah (paling transparan) adalah bioplastik kontrol, dan tertinggi pada perendaman  $\text{CaCl}_2$  3%. Konsentrasi *crosslinker* berpengaruh terhadap keburaman bioplastik ( $p < 0,05$ ), di mana semakin tinggi konsentrasi  $\text{CaCl}_2$ , bioplastik menjadi semakin buram (semakin tidak transparan). Pembentukan ikatan silang antar rantai polimer alginat dan karagenan oleh  $\text{CaCl}_2$  menyebabkan pembentukan ikatan yang lebih kuat dan menghasilkan lebih sedikit ruang antar rantai polimer, sehingga intensitas cahaya yang melewati bioplastik semakin berkurang (Costa *et al.*, 2018). Ion  $\text{Ca}^{2+}$  berikatan dengan karagenan melalui tarikan elektrostatik membentuk jembatan intramolekuler antara oksigen endoeter dengan gugus  $\text{OSO}_3^-$  diikuti pembentukan tautan silang antar makromolekul karagenan, dan menginduksi konformasi polimer melalui transisi *coil-helix* untuk membentuk gel.



**Gambar 3.** Bioplastik Alginat-Karagenan-Glisierol  
(a) Bioplastik kontrol (lebih transparan); (b) Bioplastik dengan perendaman  $\text{CaCl}_2$  (Buram)

**Tabel 1.** Karakteristik Bioplastik Alginat-Karagenan-Glisierol dengan Perendaman  $\text{CaCl}_2$

Perlakuan	Ketebalan (cm)	Keburaman (%)	Ketahanan air (%)	Biodegradabilitas (%)	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)
Kontrol	0,0127±0,0012 <sup>d</sup>	9,49±0,95 <sup>a</sup>	34,07±0,029 <sup>b</sup>	71,45±0,009	2,20±0,13 <sup>a</sup>	45,03±10,75
$\text{CaCl}_2$ 1%	0,0110±0,0010 <sup>cd</sup>	11,02±0,52 <sup>ab</sup>	27,98±0,015 <sup>a</sup>	13,11±0,004 <sup>a</sup>	12,73±1,85 <sup>c</sup>	4,29±0,49 <sup>a</sup>
$\text{CaCl}_2$ 2%	0,0097±0,0006 <sup>bc</sup>	12,24±1,00 <sup>ab</sup>	35,09±0,017 <sup>b</sup>	21,02±0,012 <sup>b</sup>	8,12±0,65 <sup>b</sup>	5,34±0,07 <sup>a</sup>
$\text{CaCl}_2$ 3%	0,0077±0,0015 <sup>ab</sup>	12,85±1,89 <sup>b</sup>	41,31±0,006 <sup>c</sup>	28,32±0,002 <sup>c</sup>	10,80±0,28 <sup>bc</sup>	3,33±0,25 <sup>a</sup>
$\text{CaCl}_2$ 4%	0,0067±0,0012 <sup>a</sup>	12,20±1,28 <sup>ab</sup>	48,30±0,010 <sup>d</sup>	33,19±0,007 <sup>d</sup>	9,72±2,02 <sup>bc</sup>	4,91±1,83 <sup>a</sup>
Standar	≤0,025 <sup>**</sup>	-	99 <sup>*</sup>	>60 <sup>**</sup>	24,7-302 <sup>*</sup> ≥3,92 <sup>**</sup>	21-220 <sup>*</sup> ≥70 <sup>**</sup>

Keterangan: Data merupakan rerata dari tiga pengulangan ± standar deviasi. Data dalam kolom yang sama dan diikuti huruf superscript yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ( $p < 0,05$ ). \*SNI 7188:7:2016; \*\**Japanese Industrial Standard*

Konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  yang digunakan, berpengaruh terhadap ketebalan bioplastik alginat-karagenan-glisierol ( $p < 0,05$ ). Ketebalan bioplastik dalam penelitian ini berkisar antara 0,0067-0,0127 cm (Tabel 1), paling tebal adalah bioplastik kontrol (tanpa perendaman  $\text{CaCl}_2$ ) dan terendah adalah bioplastik dengan perendaman  $\text{CaCl}_2$  4%. Ketebalan bioplastik semakin berkurang dengan peningkatan konsentrasi  $\text{CaCl}_2$ , karena terjadinya pelarutan permukaan bioplastik dalam larutan  $\text{CaCl}_2$ , (Choi *et al.*, 2022) maupun terbentuknya ikatan silang antara ion  $\text{Ca}^{2+}$  dengan gugus  $-\text{COO}^-$  alginat (Rhim, 2004), dan gugus  $\text{OSO}_3^-$  karagenan (Annisa *et al.*, 2021)). Hasil ini sama dengan yang terjadi pada bioplastik alginat-sagu (Fazilah *et al.*, 2011), di mana bioplastik yang direndam lebih lama dalam  $\text{CaCl}_2$  juga memiliki ketebalan yang paling rendah. Hasil ini telah memenuhi standar nilai ketebalan bioplastik menurut *Japanese Industrial Standard*, yaitu  $< 0,025$  cm.

Alginat dan karagenan bersifat larut dalam air karena keduanya merupakan koloid hidrofil yang banyak mengandung gugus  $-\text{OH}$  (hidroksil). Resistensi airnya dapat ditingkatkan dengan penambahan logam divalen/polivalen seperti  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  (Khalil *et al.*, 2017). Ketahanan air bioplastik alginat-karagenan-glisierol terendah adalah pada perendaman  $\text{CaCl}_2$  1%, dan tertinggi pada  $\text{CaCl}_2$  4% (**Tabel 1**). Ketahanan air bioplastik semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  yang digunakan (Rhim, 2004). Penambahan  $\text{CaCl}_2$  sebagai *crosslinker* berpengaruh terhadap nilai ketahanan air ( $p < 0,05$ ). Ketahanan air Bioplastik dengan perendaman  $\text{CaCl}_2$  1% lebih rendah daripada kontrol. Hal ini diduga karena konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  1% kurang optimal sebagai *crosslinker*, sesuai dengan (Rhim, 2004; Costa *et al.*, 2018) dimana bioplastik alginat dengan  $\text{CaCl}_2$  1% masih larut sempurna dalam air. Costa *et al.* (2018) menyatakan bioplastik tanpa *crosslink* terlarut 100% dalam air, sedangkan dengan perendaman  $\text{CaCl}_2$  terlarut sebagian (49,58%). Bioplastik tanpa penambahan *crosslinker* hanya membutuhkan waktu 5 menit untuk larut dalam air, sedangkan bioplastik dengan penambahan *crosslinker* membutuhkan waktu 2 jam (Pinpru & Woramongkolchai, 2020). Kation  $\text{Ca}^{2+}$  membentuk ikatan antara 2 rantai monomer guluronat pada sisi yang berlawanan melalui ikatan multikoordinasi dengan atom oksigen gugus hidroksil dan gugus karboksilat membentuk struktur “egg-box”, (Ching *et al.*, 2017) di mana gugus  $\text{COO}^-$  guluronat mengikat  $\text{Ca}^{2+}$ , sehingga

menurunkan kemampuan rantai polimer alginat untuk mengikat molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Ion  $\text{Ca}^{2+}$  berkelakuan sebagai asam Lewis yang menerima pasangan elektron dari atom oksigen gugus sulfat karagenan dan gugus karboksilat alginat dan gugus hidroksil. Penambahan  $\text{CaCl}_2$  meningkatkan kekuatan gel dengan meningkatkan susunan konformasi *coil-to-helix* dan selanjutnya teragregasi sehingga konformasi helix alginat menjadi lebih stabil dan tahan air. Ketahanan air bioplastik dalam penelitian ini belum memenuhi standar menurut SNI 7188.7:2016 yaitu sebesar 99%.

Biodegradabilitas menunjukkan kemudahan suatu bahan untuk terdegradasi Perendaman dalam  $\text{CaCl}_2$  berpengaruh terhadap biodegradabilitas bioplastik ( $p < 0,05$ ). Bioplastik kontrol menunjukkan biodegradabilitas tertinggi yaitu  $71,45 \pm 0,009\%$ , sedangkan bioplastik dengan perendaman  $\text{CaCl}_2$  berkisar antara 10-33%. Bioplastik tanpa perlakuan  $\text{CaCl}_2$  lebih mudah terdegradasi karena materi penyusun bioplastik bersifat hidrofilik. Perendaman dengan  $\text{CaCl}_2$  menurunkan biodegradabilitas bioplastik, namun jika konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  semakin tinggi, biodegradabilitasnya juga meningkat (Tabel 1). Hasil ini sesuai dengan bioplastik alginat-CMC-glisierol, di mana perlakuan dengan  $\text{CaCl}_2$  juga memperlambat proses degradasi bioplastik (Ridlo *et al.*, 2020). Perendaman dalam  $\text{CaCl}_2$  menyebabkan bioplastik lebih sukar larut dalam air, selain itu ikatan  $\text{Ca}^{2+}$ -alginat lebih sulit dipecah oleh mikroorganisme daripada gugus  $-\text{OH}$ , namun adanya logam esensial seperti  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , dan  $\text{Fe}^{2+}$  juga dapat meningkatkan aktifitas enzim sehingga bioplastik dengan kadar  $\text{CaCl}_2$  yang lebih tinggi cenderung lebih mudah terdegradasi (Sari *et al.*, 2020).

Kuat tarik merupakan gaya maksimum yang dapat ditahan oleh bioplastik (Anggraini *et al.*, 2013). Kuat tarik bioplastik dalam penelitian ini berkisar 2,30-26,16 Mpa, di mana paling rendah adalah bioplastik kontrol (Tabel 1). Peningkatan konsentrasi  $\text{CaCl}_2$  berpengaruh terhadap nilai kuat tarik bioplastik ( $p < 0,05$ ). Kuat tarik seluruh bioplastik dengan perlakuan  $\text{CaCl}_2$  telah memenuhi *Japanese Industrial Standard* ( $\geq 3,92$  MPa). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Costa *et al.* (2018) dan Pinpru & Woramongkolchai (2020), di mana penambahan *crosslinker* meningkatkan kuat tarik bioplastik. Hal ini karena Ion  $\text{Ca}^{2+}$  bereaksi dengan alginat dan karagenan membentuk gel yang kuat dan sukar larut dalam air dan berperan dalam



asosiasi blok M dan G. Difusi ion  $\text{Ca}^{2+}$  ke dalam larutan alginat memacu terjadinya pertukaran ion, di mana alginat larut air mengganti pasangan ionnya dengan  $\text{Ca}^{2+}$ , dan membentuk gel. Residu G yang bersebelahan membentuk rongga yang bertindak sebagai sisi ikatan dengan ion  $\text{Ca}^{2+}$ , sehingga karakteristik dan sifat gel meningkat (Tavassoli *et al.*, 2016; Khalil *et al.*, 2017).

Elongasi (persen perpanjangan putus) bioplastik kontrol sebesar  $45,03 \pm 10,75\%$ , jauh lebih besar daripada bioplastik yang diberi perlakuan  $\text{CaCl}_2$ , yaitu antara 1-5%. Kecuali kontrol, elongasi bioplastik pada penelitian ini belum memenuhi standar nilai elongasi bioplastik baik menurut *Japanese Industrial Standard* ( $\geq 70\%$ ) maupun SNI (21-220%). Menurut Pinpru & Woramongkolchai (2020), elongasi bioplastik berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik, semakin tinggi konsentrasi *crosslinker*, maka elongasi akan menurun. Nilai elongasi yang tinggi pada bioplastik kontrol disebabkan oleh penambahan *plasticizer* gliserol (Gao *et al.*, 2017). Konsentrasi gliserol 25-30% mampu meningkatkan elongasi, kelarutan dan permeabilitas uap air bioplastik karena terjadinya modifikasi struktur menjadi kurang rapat (Farhan & Hani, 2017). Karagenan cenderung meningkatkan resistensi air dan kuat tarik, sedangkan alginat berperan membentuk bioplastik menjadi lebih seragam (*uniform*), homogen dan transparan (Paula *et al.*, 2015). Ketidakseragaman bioplastik diduga menjadi penyebab berkurangnya elongasi, serta meningkatkan *opacity* bioplastik (Paula *et al.*, 2015). Perendaman dalam  $\text{CaCl}_2$  menurunkan *network* dan derajat plastisasi sehingga menurunkan elongasi bioplastik dan cenderung mengeras. Kuat tarik dan elongasi bioplastik juga tergantung pada rasio G/M dan urutannya dalam polimer alginat. Blok G meningkatkan terbentuknya ikatan silang, sedangkan blok M dan selang-seling GM tidak berpengaruh terhadap kuat tarik dan elongasi bioplastik (Rhim, 2004).

## KESIMPULAN

Perendaman dalam larutan  $\text{CaCl}_2$  meningkatkan secara signifikan ( $p < 0,05$ ) kuat tarik, ketahanan air, dan *opacity* dan menurunkan ketebalan, elongasi, dan biodegradabilitas bioplastik alginat – karagenan – gliserol. Karakteristik bioplastik terbaik dicapai pada perendaman dalam  $\text{CaCl}_2$  4%. Berdasarkan spektra FTIR disimpulkan tidak terjadi reaksi

kimia dan tidak ada gugus fungsi baru yang terbentuk akibat interaksi antar komponen penyusun bioplastik. Penelitian selanjutnya akan difokuskan pada upaya peningkatan resistensi air dan kuat tarik bioplastik agar dapat digunakan sebagai material pengganti plastik sekali pakai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan UNDIP yang telah memberikan dana untuk penelitian ini dari sumber dana selain APBN Universitas Diponegoro tahun anggaran 2021 nomor 74/UN7.5.10.2/PP/2021

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggarini, F., Latifah, dan Miswadi, S.S. 2013. Aplikasi *Plasticizer* Gliserol pada Pembuatan Plastik Biodegradable dari Biji Nangka. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 2(3): 173–178.
- Annisa, V., Sulaiman, T.N.S., Nugroho, A.K. dan Nugroho. A.E. 2021. Review Sinergisitas Kombinasi Polimer Alami Serta Pemanfaatan dalam Formulasi Obat. *Majalah Farmasetika*, 6(5): 436.
- Bekin, S., Sarmad, S., dan Engineering, E. 2014. Dielectric, Thermal, and Swelling Properties of Calcium Ion-Crosslinked Sodium Alginate Film. *Polymer Engineering and Science*, 1372–1382.
- Brandelero, R.P.H., Brandelero, E.M. dan de Almeida, F.M. 2016. Filmes biodegradáveis de amido/PVOH/alginato em sistema de embalagem para alface (*Lactuca sativa* L.) minimamente processada. *Ciencia e Agrotecnologia*, 40(5): 510–521.
- Choi, I., Lee, Y., Lyu, J.S Lee, J.S. dan Han, J. 2022. Characterization of ionically crosslinked alginate films: Effect of different anion-based metal cations on the improvement of water-resistant properties. *Food Hydrocolloids*, 131(December 2021): 107785.
- Costa, M.J., Marques, A.M., Pastrana, L.M., Sillankorva, S.M. dan Cerqueira, M.A. 2018. Physicochemical properties of alginate-based films: Effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio. *Food Hydrocolloids*, 81: 442–448.
- Darmawan, M., Tazwir, dan Hak, N. 2006. Pengaruh Perendaman Rumput Laut Coklat Segar dalam Berbagai Larutan Terhadap Mutu

- Natrium Alginat. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*, 9(1):26-38 doi: 10.17844/jphpi.v9i1.1001
- Distantina, S., Rochmadi, Wiratni, dan Fahrurrozi, M. 2012. Mekanisme Proses Tahap Ekstraksi Karagenan dari *Eucheuma cottonii* Menggunakan Pelarut Alkali. *Agritech*, 32(4): 397–402.
- 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
- Fazilah, A., Maizura, M., Abd Karim, A., Bhupinder, K., Rajeev, B., Uthumporn, U. dan Chew, S.H. 2011. Physical and mechanical properties of sago starch - Alginate films incorporated with calcium chloride. *International Food Research Journal*, 18(3): 1027–1033.
- Fransiska, D., Giyatmi, Irianto, H.E., Darmawan, M. dan Melanie, S. 2018. Karakteristik Film k-karagenan dengan Penambahan Plasticizer Polietilen Glikol. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 13(1): 13-20
- Gao, C., Pollet, E. & Averous, L. 2017. Propertise of Glycerol-Plasticized Alginate film Obtained by Thermo-mechanical Mixing. *Food Hydrocolloids*. 63. 414–420
- Harumarani, S., ruf, W. dan Romadhon, R. 2016. Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Gliserol Pada Karakteristik Edible Film Komposit Semirefined Karagenan *Eucheuma Cottoni* Dan Beeswax. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 5(1): 101–105.
- Husni, A., Subaryono, Y., Pranoto, Tazwir, dan Ustadi. 2012. Pengembangan Metode Ekstraksi Alginat dari Rumput Laut *Sargassum* sp. sebagai Bahan Pengemtal. *Agritech*, 32(1): 1–8.
- 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
- Kusumawati, R., Basmal, J. dan Utomo, B.S.B. 2018. Characteristics of Sodium Alginate Extracted from *Turbinaria* sp. and *Sargassum* sp. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. 13(2): 79-84
- Laksanawati, R., U. Ustadi, dan A. Husni. 2017. Development of Alginate Extraction Method from Seaweed *Turbinaria ornata*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2): 36.
- Langit, N.T.P., Ridlo, A. dan Subagiyo. 2021. Pengaruh Konsentrasi Alginat dengan Gliserol sebagai Plasticizer Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik. *Journal of Marine Research*, 8(3): 314–321.
- Liling, G., Z. Di, X. Jiachao, G. Xin, F. Xiaoting, dan Z. Qing. 2016. Effects of Ionic Crosslinking on Physical and Mechanical Properties of Alginate Mulching Films. *Carbohydrate Polymers*, 136: 259–265.
- Lim, J.Y., Hii, S.L., Chee, S.Y. dan Wong, C.L. 2018. *Sargassum siliquosum* J. Agardh extract as potential material for synthesis of bioplastic film. *Journal of Applied Phycology*, 30(6): 3285–3297.
- Paşcalau, V., Popescu, V., Popescu, G.L., Dudescu, M.C., Borodi, G., Dinescu, A., Perhaita, I., dan Paul, M.. 2012. The Alginate/k-Carrageenan ratio's Influence on the Properties of The Cross-linked Composite Films. *Journal of Alloys and Compounds*, 536(SUPPL.1): 418–423.
- Paula, G.A., Benevides N.M.B., Cunha A.P., de Oliveira, A.V., Pinto, A.M.B., Morais, J.P.S., dan Azeredo, H.M.C. 2015. Development and Characterization of Edible Films from Mixtures of  $\kappa$ -Carrageenan,  $\iota$ -Carrageenan, and Alginate. *Food Hydrocolloids*, 47: 140–145.
- Pinpru, N. dan Woramongkolchai, S. 2020. Crosslinking Effects on Alginate/Carboxymethyl Cellulose Packaging Film Properties. *Chiang Mai Journal of Science*, 47(4 Special Issue 2): 712–722.
- Rhim, J.W. 2004. Physical and Mechanical Properties of Water Resistant Sodium Alginate Films. *LWT. Food Science and Technology*, 37(3): 323–330.
- Ridlo, A., Sedjati, S., Supriyantini, E., dan Putri, O.K. 2022. Karakteristik Bioplastik Komposit CMC- Gliserol-Alginat dari *Sargassum* sp. dengan Kalsium Klorida. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2): 257–265.
- Sari, D.P., Amir, H., dan Elvia, R. 2020. Isolasi Bakteri Dari Tanah Tempat Pembangan Akhir (TPA) Air Sebakul Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Plastik Polyethylene. *Alotrop*, 4(2): 98–106.

Sarıyer, S., Duranoğlu, D., Doğan, Ö., dan Küçük, İ.. 2020. pH-Responsive Double Network Alginate / k-Carrageenan Hydrogel Beads for Controlled Protein Release : Effect of pH and Crosslinking agent. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 56: 1–7.

Tambunan, A.P.M., Rudiyanayah, dan Harlia. 2013. Pengaruh Konsentrasi  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Terhadap Rendemen Natrium Alginat dari

*Sargassum cristaefolium* Asal Perairan Lemukutan. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 2(2): 112–117.

Tavassoli-Kafrani, E., H. Shekarchizadeh, dan M. Masoudpour-Behabadi. 2016. Development of Edible Films and Coatings from Alginates and Carrageenans. *Carbohydrate Polymers*, 137: 360–374.