

Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Komposit dari Alginat dan Karagenan

Khusnul Khotimah*, Ali Ridlo, Chrisna Adi Suryono

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail: chusnul.khtm@gmail.com

ABSTRAK: Sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton setiap tahunnya dan 3,2 juta ton diantaranya dibuang ke laut, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menciptakan plastik yang ramah lingkungan (bioplastik). Alginat dan karagenan merupakan polisakarida yang dihasilkan dari rumput laut yang berpotensi sebagai bahan pembuat bioplastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karagenan terhadap karakteristik bioplastik komposit alginat-karagenan dengan pemlastis gliserol. Alginat diperoleh dari ekstraksi *Sargassum* sp. dan karagenan diperoleh dari ekstraksi *Kappaphycus* sp. yang berasal dari Jepara, Jawa Tengah. Bioplastik dibuat dengan cara mencampurkan 1 gram alginat dan berbagai konsentrasi karagenan (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 gram) dalam 100 ml akuades yang diaduk dengan magnetic stirer selama 30 menit pada suhu 90°C. Gliserol sebanyak 10 ml ditambahkan ke dalam campuran dan dihomogenkan kembali selama 15 menit. Bioplastik dicetak dengan pelat kaca dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 18 jam, kemudian dilepaskan dari cetakan dan dicelupkan ke dalam larutan CaCl₂ 2%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi karagenan berpengaruh ($p < 0,05$) terhadap sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi) dan sifat fisik (ketebalan, keburaman dan biodegradabilitas), tetapi tidak berpengaruh ($p > 0,05$) pada ketahanan air bioplastik. Konsentrasi karagenan terbaik bioplastik komposit alginat-karagenan adalah 1,5 gram karena memiliki sifat fisik dan mekanik yang telah memenuhi Japanese Industrial Standard dan SNI 7188.7:2016 kecuali pada ketahanan airnya.

Kata kunci: Bioplastik; Alginat; Karagenan; Gliserol

Physical and Mechanical Properties of Alginate and Carrageenan Composite Bioplastics

ABSTRACT: Plastic waste in Indonesia reaches 64 million tons annually and 3.2 million tons of them are dumped into the sea, so research is needed to create environmentally friendly plastics (bioplastics). Alginate and carrageenan are polysaccharides produced from seaweed that have the potential to be used as bioplastics. This study aims to determine the effect of carrageenan on the bioplastic characteristics of alginate-carrageenan composites with glycerol as a plasticizer. Alginate obtained from the extraction of *Sargassum* sp. and carrageenan obtained from the extraction of *Kappaphycus* sp. from Jepara, Central Java. Bioplastics were made by mixing 1 gram of alginate and various concentrations of carrageenan (1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 3.5 grams) in 100 ml of distilled water which was stirred with a magnetic stirrer for 30 minutes at 90°C. 10 ml of glycerol was added to the mixture and homogenized again for 15 minutes. The bioplastic was molded on a glass plate and dried in an oven at 50°C for 18 hours, then removed from the mold and immersed in a 2% CaCl₂ solution. The results showed that carrageenan concentration had an effect ($p < 0.05$) on mechanical properties (tensile strength and elongation) and physical properties (thickness, opacity and biodegradability), but had no effect ($p > 0.05$) on water resistance of bioplastics. The best carrageenan concentration of alginate-carrageenan composite bioplastic is 1.5 grams because it has physical and mechanical properties that meet the Japanese Industrial Standard and SNI 7188.7:2016 except for its water resistance.

Keywords: Bioplastic; Alginate; Carrageenan; Glycerol

PENDAHULUAN

Plastik adalah bahan yang tersusun atas polimer sintesis dengan berat molekul yang tinggi. Plastik berperan penting untuk melindungi produk atau bahan pangan dengan tujuan memperpanjang umur simpan serta mencegah kontaminasi (Nasution *et al.*, 2019). Sampah plastik yang dihasilkan Indonesia mencapai 64 juta ton setiap tahunnya dan 3,2 juta ton diantaranya dibuang ke laut (BPS, 2020). Sampah plastik yang telah terfragmentasi masih dapat menyebabkan kontaminasi perairan karena mengalami perubahan wujud menjadi partikel yang dikenal dengan mikroplastik, sehingga mudah tertelan oleh organisme yang ada di laut dan terakumulasi di dalam tubuh organisme tersebut (Mardiyana dan Kristiningsih, 2020; Veerasingam *et al.*, 2021). Permasalahan tersebut mendorong pentingnya dilakukan penelitian untuk menemukan plastik yang ramah lingkungan dan mudah terurai (bioplastik). Bioplastik merupakan kelompok plastik yang dapat terurai secara hayati (Sagnelli *et al.*, 2017). Rumput laut dapat dikembangkan sebagai bahan dasar bioplastik, diantaranya: *Sargassum* sp. dan *Kappaphycus alvarezii*, karena menghasilkan kelompok polisakarida hidrokoloid seperti alginat, agar dan karagenan. Polisakarida ini berpotensi sebagai bahan pembuatan bioplastik karena dapat membentuk bioplastik yang kuat, mudah terurai serta ramah lingkungan (Necas dan Bartosikova, 2013). Bioplastik yang terdiri dari 1 jenis polimer alam memiliki kelemahan pada karakteristik, sifat fisik seperti kuat tarik dan elongasi, ketebalan, keburaman dan ketahanan terhadap air. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan atau kombinasi dengan bahan lain seperti selulosa dan etilen glikol (Khalil *et al.*, 2017). Bioplastik yang terbuat dari hidrokoloid alginat memiliki kelemahan yaitu tingkat resistensi terhadap air yang rendah, karena banyaknya kandungan gugus hidroksil (-OH) dalam molekulnya. Untuk mengatasi hal tersebut perlu ditambahkan karagenan yang merupakan polimer hidrofilik alami dengan rantai linier galaktan sulfat yang dapat membentuk matriks polimer yang kuat dan meningkatkan kuat tarik antar molekul (Rusianto *et al.*, 2020). Penggunaan alginat sebagai bahan bioplastik dan pencelupan dengan CaCl_2 mampu meningkatkan resistensi bioplastik terhadap air (Langit *et al.*, 2019). Penambahan karagenan dan gliserol dalam pembuatan bioplastik mampu meningkatkan kuat tarik dan water barrier (Paula *et al.*, 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi karagenan terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik komposit alginat dan karagenan dengan pemlastis gliserol.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan adalah alginat yang diekstraksi dari rumput laut *Sargassum* sp. dan karagenan yang diekstraksi dari rumput laut *Kappaphycus* sp. yang diperoleh dari perairan Karimun Jawa, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah.

Sargassum sp. dan *Kappaphycus* sp. kering direndam selama 24 jam dengan air tawar, dicuci hingga bersih menggunakan air tawar mengalir untuk menghilangkan garam dan kotoran. Kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selama ± 3 hari, dikemas dalam plastik dan disimpan ditempat kering agar terhindar dari pertumbuhan jamur (Langit *et al.*, 2019).

Proses ekstraksi alginat mengacu pada metode oleh (Husni *et al.*, 2012). Sebanyak 100 gram sampel direndam dengan HCL 1% selama 1 jam kemudian dicuci dengan air tawar hingga pH netral. Kemudian diekstraksi dengan pelarut Na_2CO_3 3% sebanyak 3 liter (1:30 w/v) pada suhu 60°C - 70°C selama 2 jam, lalu disaring dengan kain belacu. NaOCl 4% 1 liter (1:2 v/v) ditambahkan ke dalam filtrat dan didiamkan selama 30 menit hingga berwarna kuning gading. Konversi asam alginat dilakukan dengan penambahan HCl 5% sambil diaduk hingga terbentuk gel alginat kemudian disaring dan ditambahkan dengan NaOH 1% hingga pH netral. Filtrat yang dihasilkan ditambahkan isopropil alkohol 3 liter (1:3 v/v) hingga membentuk serat alginat. Serat alginat disaring dan dijemur di bawah sinar matahari hingga kering, lalu diblender hingga menjadi serbuk. Alginat yang dihasilkan diuji kualitasnya meliputi rendemen, kadar air, kadar abu, dan viskositasnya.

Ekstraksi karagenan mengacu pada metode Distantina *et al.* (2012) dengan modifikasi. Rumput laut *Kappaphycus* sp sebanyak 50 gram direndam dalam 350 ml aquades selama 30 menit. Setelah itu disaring kemudian direndam dalam larutan KOH 5% selama 24 jam. Rumput laut dicuci hingga bersih. Sebanyak 2 liter akuades dipanaskan hingga suhu 90°C kemudian rumput laut

dimasukkan kedalam akuades dan direbus selama 3 jam. Hasil ekstraksi disaring dengan kain belacu. Filtrat dituang ke dalam 300 ml isopropil alkohol hingga membentuk serat lalu didiamkan selama 30 menit. Serat yang terbentuk disaring dan dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian diblender hingga menjadi serbuk, lalu disaring dan disimpan dalam toples yang tertutup rapat. Karagenan yang dihasilkan diuji rendemen, kadar air, kadar abu dan viskositasnya.

Pembuatan bioplastik mengacu pada metode Ban *et al.* (2006) dan Zaky *et al.* (2021) dengan modifikasi. Alginat sebanyak 1 gram dimasukkan dalam aquades 100 ml, kemudian ditambahkan karagenan dengan berbagai konsentrasi (1,5; 2,0; 2,5; 3,0; dan 3,5 gram). Campuran dihomogenkan menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 90°C selama 30 menit. Gliserol 10 ml ditambahkan ke dalam campuran kemudian dihomogenkan selama 15 menit. Setelah itu, campuran dituang pada cetakan plat kaca dan diratakan permukaannya menggunakan *silinder stainless steel* lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 18 jam. Selanjutnya bioplastik dicelupkan ke dalam larutan CaCl₂ 2% selama 5 menit dan dikeringkan pada suhu ruang selama 10 jam.

Uji Kualitas Bioplastik

Morfologi permukaan bioplastik diamati dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada titik tertentu dengan perbesaran yang berbeda. Sampel dipotong ± 3x4 mm lalu ditempelkan pada *carbon tape* di atas spesimen holder. Sampel kemudian dilakukan *coating Au* pada *auto coater*. Sampel ditembakkan *electrone* dengan *probe level* tertentu. Topografi permukaan sampel kemudian diamati.

Analisis FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan interaksi antar komponen penyusun bioplastik. Analisis dilakukan pada panjang gelombang 4000 - 600 cm⁻¹. Sebanyak 1 mg bioplastik ditambahkan 100 mg KBr dan digerus sampai homogen. Hasil campuran divakum untuk menghilangkan airnya dan ditekan pada 8 – 20 psi selama 10 menit. Selanjutnya pelet diletakkan pada alat spektrofotometer untuk dianalisis.

Uji kuat tarik (*tensile strength*) dan elongasi (*elongation at break*) didasarkan pada metode yang dilakukan Rifaldi *et al.* (2017). Bioplastik dipotong sesuai standar ASTM D882. Pengujian dilakukan dengan cara menjepit kedua ujung bioplastik pada mesin penguji. Selanjutnya dicatat panjang awal dan ujung tinta pencatat diposisikan pada grafik 0. Knob start dinyalakan dan alat akan menarik sampel bioplastik hingga terputus, kemudian dicatat gaya kuat tariknya (F). Uji kuat tarik dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kuat Tarik (MPa)} = \frac{\text{Perpanjangan putus}}{(\text{Lebar awal})(\text{tebal awal})}$$

Persen elongasi ditentukan dengan rumus:

$$\% \text{ Elongation} = \frac{\text{Panjang putus (cm)} - \text{Panjang awal (cm)}}{\text{Panjang awal (cm)}} \times 100\%$$

Uji ini dilakukan menurut metode Alam *et al.* (2018), bioplastik diukur ketebalannya menggunakan jangka sorong pada tiga titik yang berbeda dan dihitung rata-ratanya. Uji ketahanan air dilakukan menurut Anggarini *et al.* (2013), bioplastik yang telah disimpan dalam desikator dipotong 1 cm x 3 cm selanjutnya ditimbang (W₁). setelah ditimbang bioplastik direndam kedalam cawan petri yang berisi 10 mL akuades selama 1 menit, air di permukaan plastik diserap dengan tisu, selanjutnya ditimbang berat akhirnya (W). Ketahanan air bioplastik dihitung dengan rumus:

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

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

Keterangan: W₁ = berat sampel awal (g); W = berat sampel akhir (g)

Uji biodegradasi dilakukan dengan metode *Soil Burial Test* (Anggarini *et al.*, 2013). Bioplastik dipotong 2x3 cm, kemudian dimasukkan dalam desikator selama 24 jam, lalu ditimbang (W_1). Sampel dimasukkan ke dalam tanah pada kedalaman 5 cm selama 6 hari. Setelah 6 hari, sampel diambil dan dicuci dengan akuades, dikeringkan dengan tisu dan disimpan dalam desikator selama 24 jam dan ditimbang (W_2). Kehilangan berat bioplastik dihitung dengan persamaan:

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

Keterangan: W_1 = berat sampel sebelum ditanam (g); W_2 : berat sampel sesudah ditanam (g)

Uji keburaman (*opacity*) berdasarkan metode Brandelero *et al.* (2016). Nilai *opacity* merupakan intensitas radiasi cahaya yang terhalang oleh bioplastik. Keburaman bioplastik ditentukan menggunakan Lux meter (Lutron, LX-103). Bioplastik diletakkan di atas sensor lux meter untuk mengukur intensitas cahaya yang melintasi bioplastik ($Lux f$). Intensitas cahaya lingkungan diukur sebagai $Lux i$. pengukuran keburaman dihitung dengan persamaan:

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

Keterangan: $Lux i$ = Intensitas cahaya lingkungan; $Lux f$ = Intensitas cahaya yang terhalang oleh bioplastik

Data yang diperoleh diuji statistik meliputi uji normalitas, uji homogenitas dan uji Analysis of Varian (ANOVA) untuk membandingkan antar perlakuan dengan menggunakan SPSS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen alginat dipengaruhi oleh jenis rumput laut dan metode ekstraksi yang digunakan (Husni *et al.*, 2012). Ekstraksi alginat dengan penambahan HCl dapat memisahkan alginat dalam bentuk yang sangat halus sehingga lolos dalam penyaringan. Tingginya kadar air pada alginat dikarenakan proses penjemuran yang kurang optimal. Kadar abu alginat yang cukup tinggi diduga oleh penambahan NaOH pada proses penetralan pH alginat setelah diberi perlakuan dengan HCl (pembentukan asam alginat). Menurut Rifandi *et al.* (2017), kadar abu dipengaruhi konsentrasi HCl. Semakin tinggi konsentrasi HCl, maka diperlukan alkali dalam jumlah lebih banyak. Kandungan NaOH yang tinggi dapat meningkatkan jumlah garam dari ion Na^+ sehingga kadar abu semakin besar. Viskositas alginat yang diperoleh relatif rendah, diduga karena kadar abu yang tinggi. Selain itu viskositas, alginat dipengaruhi oleh suhu ekstraksi. Semakin tinggi suhu ekstraksi maka viskositasnya akan menurun karena polimer rantai panjang alginat mudah terdegradasi pada suhu tinggi, sehingga rantai panjang alginat terdegradasi menjadi rantai pendek (Jayanudin *et al.*, 2014). Kualitas alginat hasil ekstraksi ditampilkan pada selengkapnya pada Tabel 1.

Tabel 1. Kualitas Alginat Hasil Ekstraksi *Sargassum* sp.

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

*Food Chemical Codex

Tingginya rendemen yang dihasilkan pada penelitian ini karena penggunaan aquades sebagai pelarut ekstraksi. Menurut Distantina *et al.* (2012), air suling merupakan pelarut yang efisien untuk mendapatkan rendemen yang tinggi dibandingkan dengan penggunaan pelarut alkali, baik KOH maupun NaOH. Kadar air yang tinggi diduga karena proses pengeringan yang kurang optimal. Hal ini sesuai dengan pernyataan Pamungkas *et al.* (2013), bahwa kadar air yang melebihi standar mutu dipengaruhi oleh teknik pengeringan alginat yang dilakukan. Menurut Diharmi *et al.* (2020), kadar abu karagenan dipengaruhi oleh konsentrasi KOH, semakin tinggi konsentrasi KOH maka kadar abu karagenan semakin tinggi. Hal ini disebabkan adanya larutan KOH telah menyebabkan kation K^+ bereaksi dengan karagenin sehingga menghasilkan kadar abu yang tinggi. Nilai viskositas karagenan hasil ekstraksi *Kappaphycus* sp. telah memenuhi standar mutu viskositas minimum karagenan menurut *Food and Agriculture Organization* sebesar 5 cP. Karagenan yang diperoleh dari hasil ekstraksi *Kappaphycus* sp. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Hasil analisis morfologi permukaan bioplastik dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa penambahan karagenan ke dalam bioplastik berpengaruh pada perbedaan struktur permukaan bioplastik (Gambar 1).

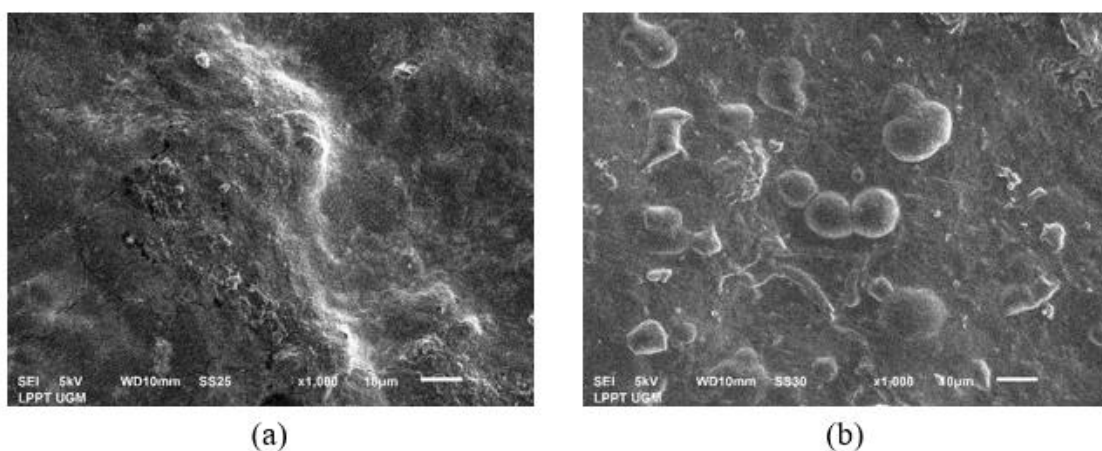
Bioplastik komposit alginat-karagenan dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram menunjukkan permukaan yang lebih rata dibandingkan dengan konsentrasi 2,5 gram dan tampak adanya agregat atau butiran-butiran pada permukaan bioplastik yang diduga merupakan alginat atau karagenan yang belum larut sempurna.

Spektra alginat dan karagenan menunjukkan –puncak –OH pada bilangan gelombang 3356 dan 3357 lebih tinggi dibanding bioplastik yang puncak –OH pada bilangan gelombang 3317. Peregangan gugus C-H (alkana) ditunjukkan pada bilangan gelombang 2942,03 cm^{-1} . Vibrasi pada bilangan gelombang 1643,62 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C=O. Gugus C-H *bending* ditunjukkan pada bilangan gelombang 1419,41 cm^{-1} . Vibrasi pada bilangan gelombang 1218,45 cm^{-1} menunjukkan

Tabel 2. Kualitas Karagenan Hasil Ekstraksi *Kappaphycus* sp.

Parameter	Hasil	Standar Mutu*
Rendemen (%)	30,3±4,72	>25%
Kadar Air (%)	14±0,11	< 12%
Kadar Abu (%)	21,84±1,57	15-40%
Viskositas (cP)	27,53±2,36	>5 cP

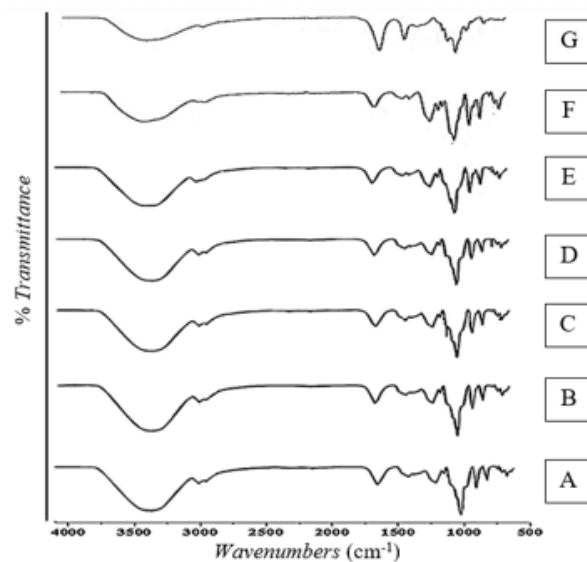
*Sumber: *Food and Agriculture Organization* (FAO)



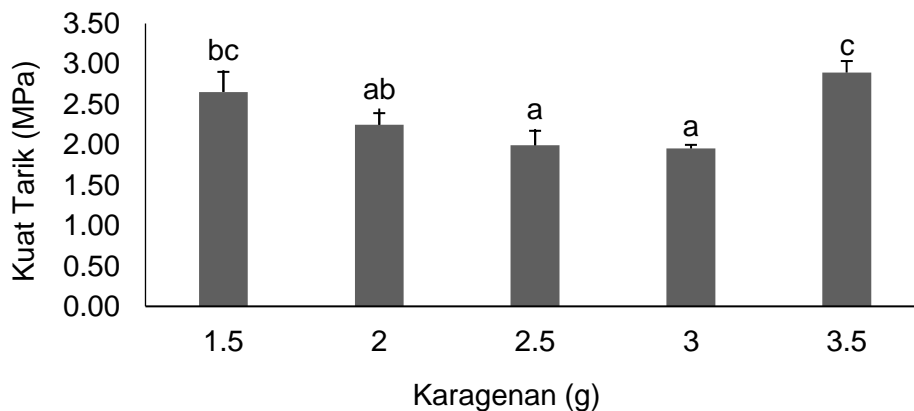
Gambar 1. *Scanning Electron Microscope* Permukaan Bioplastik Alginat-Karagenan Perbesaran x1000. Konsentrasi Karagenan: (a) 1,5 g; (b) 2,5 g.

adanya gugus S=O sulfat ester. Vibrasi pada bilangan gelombang $1034,35\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C-OH (Halim *et al.*, 2010). Menurut Pereira *et al.* (2009), vibrasi pada bilangan gelombang $921,81\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C-O dari 3,6-anhidrogalaktosa. Vibrasi pada bilangan gelombang $845,58\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan gugus C-O-SO₄ pada C₄ dari galaktosa. Penambahan karagenan pada bioplastik komposit alginat-karagenan membentuk spektra FTIR dengan transmitansi yang lebih rendah serta gelombang yang terbentuk lebih tajam, hal ini disebabkan oleh peningkatan gugus O-H yang berasal dari karagenan (Gambar 2). Konsentrasi karagenan yang ditambahkan dalam bioplastik komposit alginat-karagenan tidak mempengaruhi Spektra FTIR pada seluruh perlakuan.

Penambahan konsentrasi karagenan menunjukkan penurunan nilai kuat tarik bioplastik, kecuali pada konsentrasi 3,5 gram. Nilai kuat tarik terbesar dihasilkan pada bioplastik dengan penambahan konsentrasi karagenan 3,5 gram sebesar $2,89 \pm 0,14\text{ Mpa}$, sedangkan kuat tarik terendah pada konsentrasi karagenan 3 gram sebesar $1,95 \pm 0,05\text{ MPa}$. Penggunaan CaCl₂ sebagai *crosslinker* juga mempengaruhi nilai kuat tarik, karena CaCl₂ akan memperkuat ikatan hidrogen antar molekul alginat sehingga bioplastik alginat akan semakin kaku dan kuat. Penambahan pemlastis dapat meningkatkan elongasi dan membuat bioplastik lebih fleksibel, tetapi menurunkan kuat tarik (Khalil *et al.*, 2017).



Gambar 2. Spektra FTIR Bioplastik Komposit alginat-karagenan pada konsentrasi karagenan yang berbeda. (A) 1,5 g; (B) 2,0 g; (C) 2,5 g; (D) 3,0 g; (E) 3,5 g. (F) Karagenan dan (G) Alginat.



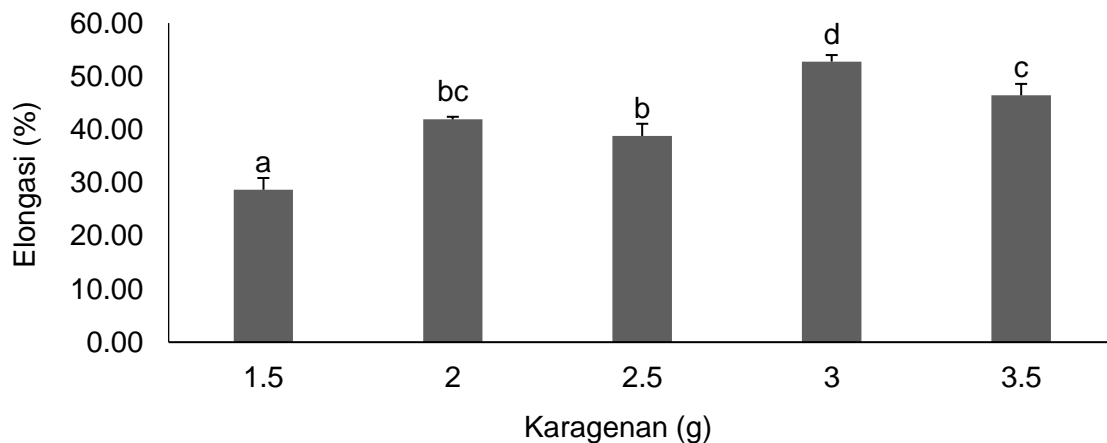
Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Kuat Tarik Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$) berdasarkan Uji Tukey HSD's dan Uji *one way* ANOVA

Nilai kuat tarik yang dihasilkan dari keseluruhan bioplastik komposit alginat-karagenan telah memenuhi *Japanese Industrial Standard* $>0,3$ MPa. Kuat tarik bioplastik komposit alginat-karagenan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan kuat tarik bioplastik komposit karagenan dan minyak biji anggur pada penelitian Shojaee-Aliabadi *et al.* (2014) sebesar 10,34-26,29 MPa.

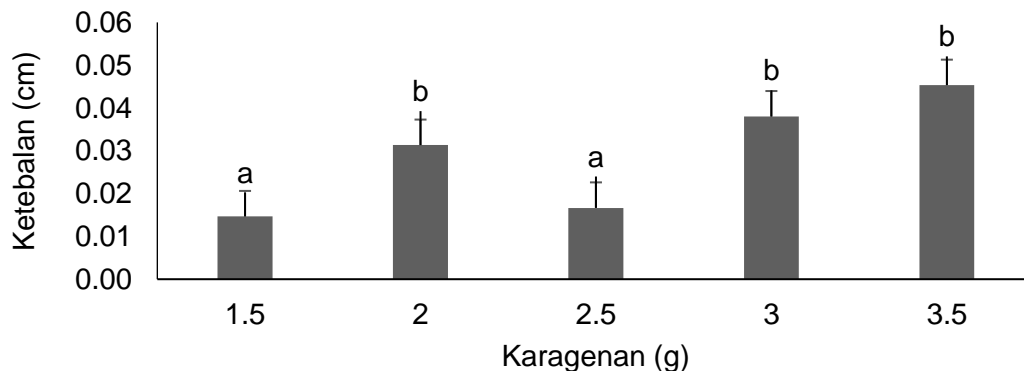
Konsentrasi karagenan berpengaruh terhadap nilai elongasi bioplastik ($p < 0,05$). Peningkatan konsentrasi karagenan cenderung meningkatkan elongasi, kecuali pada konsentrasi karagenan 2,5 gram dan 3,5 gram. Nilai elongasi terbesar dihasilkan pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 3 gram ($52,75 \pm 1,23\%$), sedangkan elongasi terendah pada konsentrasi karagenan 1,5 gram ($28,67 \pm 2,21\%$). Nilai elongasi yang dihasilkan dari keseluruhan bioplastik komposit alginat-karagenan telah memenuhi SNI 7188.7:2016 sebesar 21-220%.

Peningkatan konsentrasi karagenan mengakibatkan peningkatan padatan terlarut dalam bioplastik, sehingga membentuk rantai polimer yang kuat dan mengurangi gerakan molekul yang mengakibatkan bioplastik menjadi kaku. Menurut Zaky *et al.* (2021), besar kecilnya nilai elongasi dipengaruhi oleh pemlastis yang digunakan. Penggunaan pemlastis gliserol dapat meningkatkan nilai elongasi dan meningkatkan fleksibilitas bioplastik (Kumoro dan Purbasari, 2014).

Penambahan konsentrasi karagenan menunjukkan kecenderungan peningkatan nilai ketebalan bioplastik komposit alginat-karagenan, kecuali pada konsentrasi karagenan 2,5 gram. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai ketebalan terbesar dihasilkan pada bioplastik dengan konsentrasi 3,5 gram sebesar $0,0453 \pm 0,008$ cm, sedangkan ketebalan terendah pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram sebesar $0,0147 \pm 0,003$ cm (Gambar 5).



Gambar 4. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Elongasi Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$)

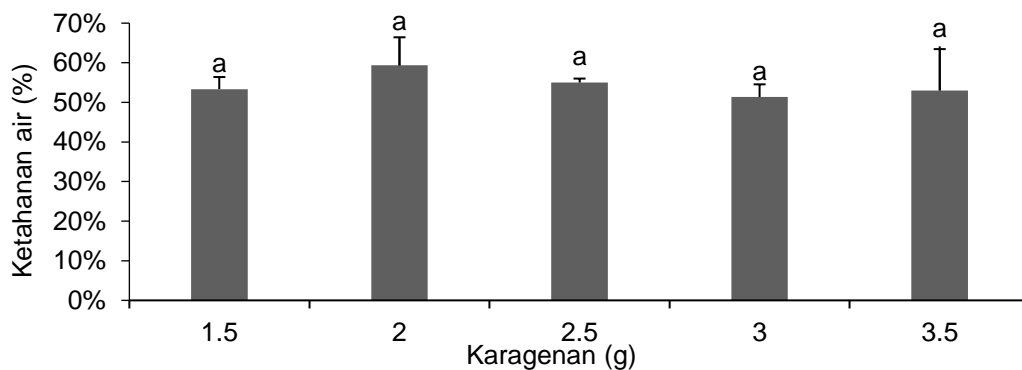


Gambar 5. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Ketebalan Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$)

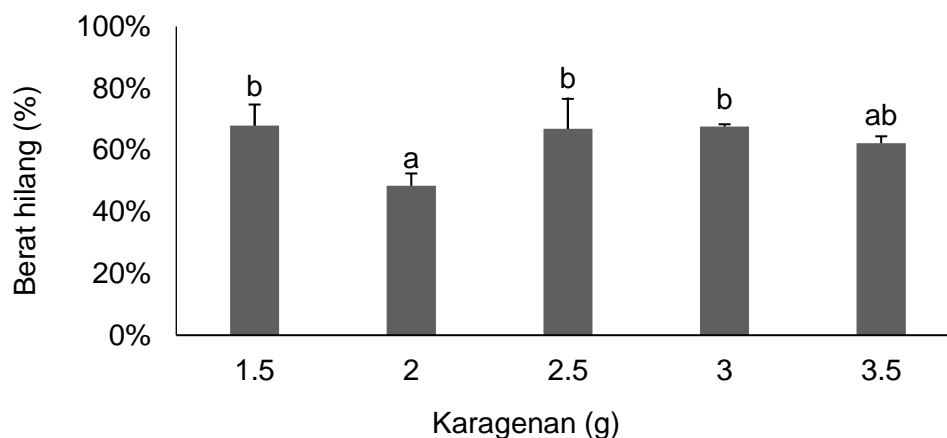
Konsentrasi karagenan 2 gram menunjukkan peningkatan ketebalan sebesar $0,0313 \pm 0,004$ cm, konsentrasi 3 gram menunjukkan nilai ketebalan sebesar $0,038 \pm 0,005$ cm. Penurunan ketebalan terjadi pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 2,5 gram sebesar $0,0167 \pm 0,005$ cm. Ketebalan bioplastik diduga dipengaruhi oleh konsentrasi karagenan, karena karagenan termasuk dalam padatan terlarut pada campuran bioplastik. Menurut Rhim (2012), ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh kandungan padatannya. Semakin tinggi konsentrasi karagenan, semakin tebal bioplastik yang dihasilkan. Nilai ketebalan bioplastik komposit alginat-karagenan yang telah memenuhi standar *Japanese Industrial Standard* ($<0,025$ cm) adalah pada konsentrasi karagenan 1,5 dan 2,5 gram.

Ketahanan air bioplastik komposit alginat-karagenan tidak mengalami peningkatan maupun penurunan yang signifikan oleh penambahan karagenan ($p > 0,05$). Nilai ketahanan air dari bioplastik komposit alginat-karagenan berkisar antara 51-59%. Nilai ketahanan air tertinggi dihasilkan oleh bioplastik dengan konsentrasi karagenan 2 gram sebesar $59,3 \pm 0,07\%$, sedangkan ketahanan air terendah dihasilkan oleh bioplastik dengan konsentrasi karagenan 3 gram sebesar $51,3 \pm 0,03\%$ (Gambar 6).

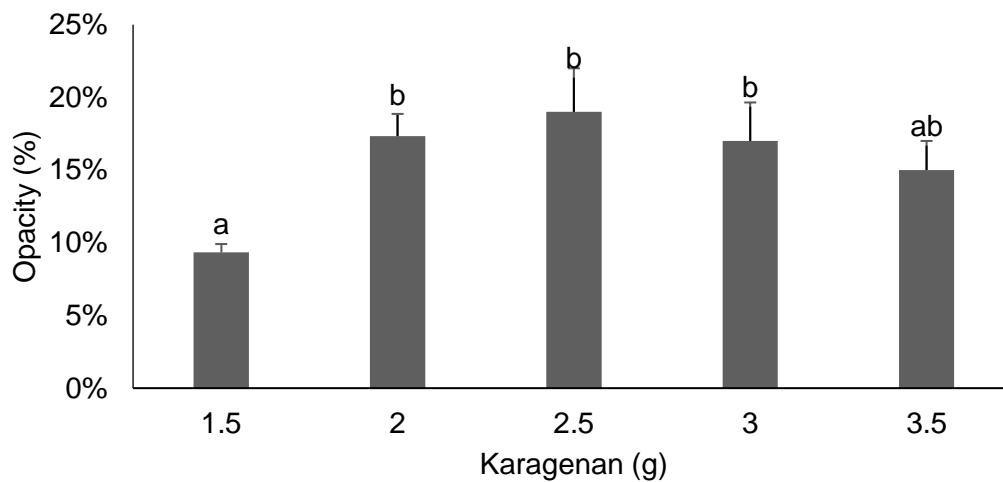
Ketahanan bioplastik dapat dilihat dari penambahan berat bioplastik saat terjadinya difusi air ke dalam bioplastik. Ketahanan air yang rendah diduga adanya penambahan alginat dan karagenan yang merupakan hidrofilik koloid (hidrokoloid). Penambahan konsentrasi karagenan tidak berpengaruh terhadap ketahanan air bioplastik karena karagenan bersifat hidrofilik sehingga mudah larut dalam air. Menurut Rhim (2004), ketahanan air dipengaruhi oleh penambahan agen *crosslinker* seperti kalsium klorida (CaCl_2). Nilai ketahanan air yang dihasilkan dari keseluruhan bioplastik komposit alginat-karagenan belum memenuhi standar SNI 7188.7:2016 (99%).



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Ketahanan Air Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata



Gambar 7. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Biodegradasi Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata



Gambar 8. Pengaruh Konsentrasi Karagenan terhadap Nilai Keburaman Bioplastik. Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata



Gambar 9. Perbandingan Keburaman Bioplastik Komposit Alginat-Karagenan antar Perlakuan Konsentrasi Karagenan yang Berbeda dengan Objek Gambar

Konsentrasi karagenan berpengaruh terhadap nilai biodegradabilitas bioplastik ($p < 0,05$). Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai biodegradabilitas terbesar pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram sebesar $67,9 \pm 0,07\%$ sedangkan nilai biodegradabilitas terendah pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 2 gram sebesar $48,3 \pm 0,04\%$.

Proses biodegradasi dipengaruhi oleh bakteri pendegradasi serta komponen penyusun bioplastik. Alginat dan karagenan merupakan polimer alami yang bersifat hidrofilik sehingga mudah menyerap air baik dari tanah maupun udara di sekitarnya, sehingga mudah terdegradasi. Menurut Khalil *et al.* (2017), bioplastik terdegradasi melalui katabolisme oleh mikroorganisme seperti bakteri, jamur dan ganggang menjadi karbondioksida dan air. Nilai biodegradabilitas yang dihasilkan dari keseluruhan bioplastik komposit alginat-karagenan telah memenuhi standar SNI 7188.7:2016 ($>60\%$), kecuali pada bioplastik dengan konsentrasi karagenan 2 gram.

Bioplastik yang dihasilkan memiliki tingkat keburaman (*opacity*) yang relatif tinggi yaitu sekitar 9-19% (Gambar 8). Penambahan konsentrasi karagenan cenderung meningkatkan keburaman bioplastik dan penambahan konsentrasi karagenan berpengaruh terhadap nilai keburaman ($p < 0,05$). Nilai

keburaman terbesar dihasilkan oleh bioplastik dengan konsentrasi karagenan 2,5 gram sebesar $19 \pm 0,03\%$, sedangkan nilai keburaman terendah dihasilkan oleh bioplastik dengan konsentrasi karagenan 1,5 gram sebesar $9,3 \pm 0,005\%$.

Tingkat keburaman (*opacity*) yang tinggi pada bioplastik komposit alginat-karagenan diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kadar garam yang tinggi pada alginat dan warna karagenan hasil ekstraksi yang cenderung buram. Menurut Rhim (2012), nilai warna dan transmitansi bioplastik komposit bervariasi tergantung pencampuran. Nilai keburaman bioplastik tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan nilai keburaman bioplastik dari pati dan alginat (Brandelero *et al.*, 2016) yang berkisar 9,8-11,82%. Perbandingan tingkat keburaman bioplastik komposit alginat dan karagenan dengan penambahan konsentrasi karagenan yang berbeda dapat dilihat lebih lengkap pada **Gambar 9**.

KESIMPULAN

Peningkatan konsentrasi karagenan berpengaruh terhadap sifat mekanik bioplastik yaitu kuat tarik dan elongasi; berpengaruh terhadap sifat fisik bioplastik seperti ketebalan dan keburaman (*opacity*), tetapi tidak berpengaruh pada ketahanan airnya serta berpengaruh terhadap biodegradabilitas bioplastik komposit alginat dan karagenan. Konsentrasi karagenan terbaik yang menghasilkan bioplastik komposit yang memenuhi *Japanese Industrial Standard* dan SNI 7188.7:2016 adalah 1,5 gram.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M., Kumalasari, N., Nurmalasari & Illing, I. 2018. Pengaruh Komposisi Kitosan Terhadap Sifat Biodegradasi dan Water Uptake Bioplastik dari Serbuk Tongkol Jagung. *Jurnal Al-Kimia.*, 6(1):24-33. DOI: 10.24252/al-kimia.v6i1.4778
- Anggarini, F., Latifah & Miswandi, S.S. 2013. Aplikasi Plasticizer Gliserol pada Pembuatan Plastik Biodegradable dari Biji Nangka. *Indonesian Journal of Chemical Science.*, 2(3): 173-178.
- Ban, W., Song, J., Argyropoulos, D.S. & Lucia, L.A. 2006. Improving The Physical And Chemical Functionality Of Starch-Derived Films With Biopolymers. *Journal of Applied Polymer Science.*, 100(3): 2542-2548. DOI 10.1002/app.23698
- Brandelero, R.P.H., Brandelero, E.M. & Almeida, F.M.D. 2016. Biodegradable Bioplastics of Starch/PVOH/Alginate In Packaging Systems For Minimally Processed Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Ciência e Agrotecnologia.*, 40: 510-521. DOI: 10.1590/1413-70542016405010516
- Diharmi, A., Rusnawati & Irasari, N. 2020. Characteristic Of Carrageenan *Eucheuma Cottonii* Collected From The Coast Of Tanjung Medang Village And Jaga Island, Riau. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, 404(1):1-9. DOI: 10.1590/1413-70542016405010516
- Distantina, S., Rochmadi, W. & Fahrurrozi, M. 2012. Mekanisme Proses Tahap Ekstraksi Karagenan Dari *Eucheuma Cottonii* Menggunakan Pelarut Alkali. *Agritech.*, 32(4):397-402.
- Halim, A., Zilfia, Z. & Octavia, M.D., 2010. Karakterisasi Alginat Dari Ganggang Coklat (*Sargassum crassifolium* Mont.) Hasil Proses Isolasi Menggunakan CaCl_2 8%. *Jurnal Farmasi Higea*, 2(2): 119-126.
- Husni, A., Subaryono., Pranoto, Y.T. & Ustadi. 2012. Pengembangan Metode Ekstraksi Alginat dari Rumput Laut *Sargassum* sp. Sebagai Bahan Pengental. *Jurnal Agritech*, 32(1): 1-8.
- Jayanudin, J., Lestari, A.Z., & Nurbayanti, F. 2014. Pengaruh Suhu dan Rasio Pelarut Ekstraksi terhadap Rendemen dan Viskositas Natrium Alginat dari Rumput Laut Cokelat (*Sargassum* sp). *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1):51-55.
- Khalil, H.P.S.A., Tye, Y.Y., Saurabh, C.K., Leh, C.P., Lai, T.K., Chong, E.W.N., Nurul, M.R., Fazita, Mohd H.J., Banerjee, A. & Syakir, M.I. 2017. Biodegradable Polymer Bioplastics from Seaweed Polysaccharides: A Review On Cellulose As A Reinforcement Material. *eXPRESS Polymer Letters*. 11(4):244–265. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2017.26

- Kumoro, A.C. & Purbasari, A. 2014. Sifat Mekanik dan Morfologi Plastik Biodegradable Dari Limbah Tepung Nasi Aking dan Tepung Tapioka Menggunakan Gliserol sebagai Plasticizer. *Jurnal Teknik Kimia*, 35(1):8-16. DOI: 10.14710/teknik.v35i1.6238
- Langit, N. T. P., Ridlo, A. & Subagiyo, S. 2019. Pengaruh Konsentrasi Alginat Dengan Gliserol Sebagai Plasticizer Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Bioplastik. *Journal of Marine Research*, 8(3):314-321. DOI: 10.14710/jmr.v8i3.25256
- Mardiyana, M. & Kristiningsih, A. 2020. Dampak Pencemaran Mikroplastik di Ekosistem Laut terhadap Zooplankton. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 2(1):29-36. DOI: 10.35970/jppl.v2i1.147
- Nasution, R.S., Harahap, M.R. & Yahya, H. 2019. Edible Bioplastik dari Karagenan (*Eucheuma cottonii*) Asal Aceh, Indonesia: Karakterisasi dengan FTIR dan SEM. *Elkawanie: Journal of Islamic Science and Technology*, 5(2):188-197. DOI: 10.22373/ekw.v5i2.5567
- Necas, J. & Bartosikova, L. 2013. Carrageenan: a review. *Veterinarni medicina*, 58(4):187–205.
- Pamungkas, T. A., Ridlo, A. & Sunaryo, S. 2013. Pengaruh Suhu Ekstraksi Terhadap Kualitas Natrium Alginat Rumput Laut *Sargassum* sp. *Journal of Marine Research*, 2(3):78-84.
- Paula, G.A., Benevides, N.M., Cunha, A.P., de Oliveira, A.V., Pinto, A.M., Morais, J.P.S., & Azeredo, H.M. 2015. Development and Characterization Of Edible Bioplastics From Mixtures of κ -carrageenan, ι -carrageenan, and Alginate. *Food Hydrocolloids*, 47:140-145. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2015.01.004
- Pereira, L., Amado, A.M., Critchley, A.T., Van de Velde, F. & Ribeiro-Claro, P.J. 2009. Identification Of Selected Seaweed Polysaccharides (Phycocolloids) By Vibrational Spectroscopy (FTIR-ATR and FT-Raman). *Food Hydrocolloids*, 23(7):1903-1909. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2008.11.014
- Rhim, J.W. 2004. Physical And Mechanical Properties Of Water Resistant Sodium Alginate Bioplastics. *LWT-Food science and technology*, 37(3): 323-330
- Rhim, J.W. 2012. Physical-Mechanical Properties Of Agar/K-Carrageenan Blend Film And Derived Clay Nanocomposite Film. *Journal of Food Science*, 77(12):N66-N73. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2012.02988
- Rifaldi, A., Hs, I., & Bahruddin, B. 2017. Sifat dan Morfologi Bioplastik Berbasis Pati Sagu dengan Penambahan Filler Clay dan Plasticizer Gliserol. *Jom Fteknik*, 4(1):1-7.
- Rifandi, R.A., Santosa, G.W., & Ridlo, A. 2014. Pengaruh Konsentrasi Asam Klorida (HCl) Terhadap Mutu Alginat Rumput Laut Coklat *Sargassum* sp. dari Perairan Teluk Awur Kab. Jepara Dan Poktunggal Kab. Gunungkidul. *Journal of Marine Research*, 3(4):676-684.
- Rusianto, T., Yuniwati, M. & Wibowo, H. 2020. Effect Carrageenan to Biodegradable Plastic from Tubers. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 8(2):148-155. DOI: 10.15294/jbat.v8i2.22975
- Sagnelli, D., Hooshmand, K., Kemmer, G.C. Kirkensgaard, J.J.K., Mortensen, K., Giosafatto, C.V. L., Holse, M., Hebelstrup, K.H., Bao, J., Stelte, W., Bjerre A.B. & Blennow, A. 2017. Cross-Linked Amylose Bio-Plastic: A Transgenic-Based Compostable Plastic Alternative. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(10):1-12. DOI: 10.3390/ijms18102075
- Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Hosseini, S.M., & Khaksar, R. 2014. Characterization Of K-Carrageenan Bioplastics Incorporated Plant Essential Oils With Improved Antimicrobial Activity. *Carbohydrate polymers*, 101:582-591. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.070
- Veerasingam, S., Ranjani, M., Venkatachalapathy, R., Bagaev, A., Mukhanov, V., Litvinyuk, D., Mugilarasan, M., Gurumoorthi, K., Gudanathan, L., & Vethamony, P., 2021. Contributions of Fourier transform infrared spectroscopy in microplastic pollution research: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(22):2681-2743. DOI: 10.1080/10643389.2020.1807450
- Zaky, M. A., Pramesti, R. & Ridlo, A. 2021. Pengolahan Bioplastik Dari Campuran Gliserol, CMC Dan Karagenan. *Journal of Marine Research*, 10(3):321-326. DOI : 10.14710/jmr.v10i3.28491