

The Effect of Maleic Anhydride Concentration on Water Resistance of Carrageenan-Based Bioplastic Made using The Sol-Gel Method

November Rianto Aminu^{1*}, Dimas Nugraha Setyaji¹, Sri Hartini¹

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia;

Article History

Received : July 17th, 2024

Revised : July 30th, 2024

Accepted : August 18th, 2024

*Corresponding Author:

November Rianto Aminu,
Program Studi Kimia, Fakultas
Sains dan Matematika,
Universitas Kristen Satya
Wacana, Salatiga, Indonesia;
Email:

november.aminu@uksw.edu

Abstract: Carrageenan as a raw material for bioplastic production has been extensively researched. However, this application does not come without challenge, one of which is its high-water absorption. This research aims to overcome the problem of high-water absorption capacity in carrageenan-based bioplastics. The approach used involves a mixture of glycerol, maleic anhydride, and lactic acid. The focus of the research is to determine the optimal concentration of maleic anhydride to reduce the water adsorption capacity of bioplastics. The methods applied include carrageenan extraction, carrageenan purity testing, making bioplastics using the sol-gel method, and testing bioplastics' resistance to water. The research results showed that the optimal maleic anhydride concentration was 6%, which was able to reduce water absorption by up to 83%. These findings show that the addition of maleic anhydride can significantly improve the water-resistant properties of carrageenan-based bioplastics, making them more potential for commercial applications that require moisture resistance

Keywords: Bioplastic, carrageenan, maleic anhydride, sol-gel, water absorbanc.

Pendahuluan

Plastik *biodegradable* atau bioplastik adalah plastik yang bisa digunakan seperti plastik konvensional pada umumnya, namun bioplastik akan hancur terurai oleh aktivitas mikroorganisme setelah terpakai dan dibuang ke lingkungan (Nurhayati dkk., 2013). Menurut Saputro & Ovita (2017), saat ini bioplastik terbuat dari bahan yang dapat diperbaharui, yaitu dari senyawa-senyawa yang terdapat di dalam tanaman seperti selulosa (Pratiwi dkk., 2016), pati (Budiman dkk., 2018), ataupun protein nabati (Suryani, 2021).

Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan bioplastik adalah rumput laut merah (*Kappaphycus alvarezii*). Rumput laut merah dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik karena memiliki karagenan yang memiliki struktur seperti pati atau selulosa dan termasuk dalam kategori polisakarida (Wasilah, 2017). Penggunaan karagenan dalam

pembuatan bioplastik masih memiliki kelemahan yaitu bioplastik yang dihasilkan tidak tahan air dan kekuatan mekaniknya sangat rendah. Kelemahan ini dapat diatasi dengan penambahan bahan-bahan pemlastis atau *plasticizer* untuk memperbaiki sifat plastis dan mekanis pada plastik tersebut (Islamiyah, 2021).

Umumnya, *plasticizer* yang digunakan untuk memperbaiki sifat plastis dan mekanis pada plastik adalah seperti gliserol, sorbitol, dan juga kitosan (Putri, 2019). Kitosan merupakan bahan yang ramah lingkungan, dan mampu menambah sifat mekanik bioplastik serta ketahanan terhadap air. Selain itu, kitosan juga mudah terdegradasi, mudah digabungkan dengan material lainnya, dan bersifat antimikrobakteria. Namun, dari segi ekonomis, kitosan terbilang cukup mahal. Alternatif lain pembuatan bioplastik adalah dengan menambahkan anhidrida maleat, dan asam laktat. Pemilihan anhidrida maleat dikarenakan penambahan senyawa ini dapat mempengaruhi kekuatan

mekanis dan daya tahan terhadap air (Hemsri *et al.*, 2015). Selain itu, anhidrida maleat secara ekonomis juga terbilang lebih terjangkau dibandingkan dengan kitosan.

Penambahan anhidrida maleat sebagai *plasticizer* mampu mempengaruhi sifat mekanis plastik (Jayarathna, *et al.*, 2022), semakin tinggi konsentrasi *plasticizer*, maka kuat tarik dan modulus young semakin menurun. Kuat tarik yang dihasilkan pada penelitian Marfu'ah (2015) sebesar 44-62 Mpa dan sesuai dengan kriteria kuat tarik plastik *biodegradable* menurut standar SNI 71877.7:2011. Selain itu, penambahan konsentrasi *plasticizer* dapat menurunkan daya serap plastik terhadap air. Hal ini disebabkan ikatan hidrogen pada gliserol cenderung membentuk ikatan dengan molekul air (Patel, M., *et al.* 2023). Marfu'ah (2015) juga menambahkan bahwa penambahan anhidrida maleat dibutuhkan sebagai bahan aditif untuk memperbaiki sifat-sifat hidrofilitas. Penambahan anhidrida maleat dapat mengurangi sifat hidrofilitas dengan mengikat gugus hidroksil polisakarida/karagenan untuk membentuk gugus ester hidrofobik

Berdasarkan kajian diatas, kami ingin mengkaji tentang efek penambahan anhidrida maleat dalam pembuatan bioplastik rumput laut yang menggunakan *plasticizer* gliserol, anhidrida maleat, dan asam laktat. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi proses esterifikasi karagenan dengan anhidrida maleat. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, salah satunya, sebagai sumber rujukan bagi pengembangan bioplastik yang berasal dari karagenan.

Bahan dan Metode

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana pada bulan September – Desember 2021.

Bahan dan piranti

Bahan baku yang dipakai adalah rumput laut (*Kappaphycus alvarezii*) yang telah dikeringkan dari daerah Jepara, Jawa Tengah. Bahan pelarut yang dipakai disesuaikan dengan standar Smartlab, Indonesia, yaitu KOH, HCl,

maleic anhydride, aseton, isopropanol, KCl, Ba(OH)₂, akuades dan gliserol.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah saringan, cetakan/loyang, erlenmeyer 250 mL, *dying cabinet*, buret 50 mL, statif dan klem, *grinder*, corong, panangas air, pipet tetes, pilius, pengaduk kaca, neraca analitik, desikator dan gelas beker.

Ekstraksi karagenan (Basiroh *et al.*, 2016)

Rumput laut dicuci dengan air bersih lalu dikeringkan. Setelah itu 25 gr rumput laut yang telah dicuci dan dipotong-potong kecil kemudian dimasukkan ke dalam gelas piala dan ditambahkan akuades sampai semua rumput laut terendam selama 24 jam. Setelah itu dicuci hingga bersih pada air yang mengalir dan dimasukan kembali kedalam gelas piala yang berisi akuades dan ditambahkan larutan NaOH 1%. Nilai pH sampel diatur sekitar 8,5–9 dengan menggunakan pH meter. Sampel dipanaskan di atas panangas air pada suhu 70-90°C selama 3 jam, pada saat itu rumput laut hancur dan menjadi gel. Sebelum padat, gel disaring dalam keadaan panas menggunakan kain kasa. Hasil saringan ditampung dalam *beaker glass* kemudian ditambahkan alkohol 96% sampai semua bagian terendam selama 24 jam. Ekstrak karagenan ditiriskan dan dioven pada suhu 60°C selama 4 jam (Winarno, 1997).

Uji kemurnian (Agustin *et al.*, 2017)

Uji kemurnian ekstrak karagenan dilakukan dengan cara Gravimetri. Larutkan sejumlah ekstrak karagenan dalam akuades dengan suhu larutan 24°C dan kelembaban 76%. Larutan disaring dengan menggunakan kertas saring, kemudian dikeringkan kertas saring tersebut dalam oven. Bahan pengotor yang terdapat pada kertas saring ditimbang. Kemurnian dapat dicari dengan Persamaan 1:

$$\% \frac{b}{b} = \frac{B1-B2}{B1} \times 100\% \quad (1)$$

dimana B1 dan B2 berturut – turut adalah massa sebelum dan sesudah penyaringan

Ekstrak karagenan juga akan di cek spektrumnya dengan menggunakan FTIR (PerkinElmer Spectrum IR, UII). Spektrum yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan *data*

base Fluka Library untuk menentukan kemiripan spektrum dengan data spektrum senyawa yang telah ada.

Pembuatan bioplastik

Preparasi Gel (Batori et al., 2017 dengan modifikasi)

Sebanyak 15 % gliserol, *maleic anhydride*, dan asam laktat ditambahkan kedalam wadah yang berisi 100 mL akuades. Campuran dipanaskan dan *distirrer* hingga suhu 80°C. Gel yang terbentuk didinginkan hingga suhu ruang. Gel ini selanjutnya disebut RLE/AL.

Pembuatan Bioplastik (Kara et al., 2003 dengan modifikasi)

CaCO₃ dilarutkan kedalam 5 mL akuades kemudian ditambahkan kedalam wadah yang berisi 50 mL akuades. Rumput laut halus ditambahkan kedalam campuran kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 80°C selama 10 menit. Campuran dipanaskan dan *distirrer* hingga suhu 80 °C. Gel RLE/AL ditambahkan kedalam campuran kemudian dipanaskan dan *distirrer* pada suhu 80 °C selama 50 menit. Campuran dicetak dalam nampan dengan ketebalan 5 mm dan dikeringkan dalam *drying cabinet* bersuhu 50 °C selama semalam.

Uji ketahanan air (Darni & Utami, 2010)

Mula-mula ditimbang berat awal sampel yang akan diuji, lalu sampel diletakkan ke dalam wadah yang telah berisi akuades. Setelah 10 detik, sampel diangkat dari dalam wadah berisi akuades dan ditimbang beratnya. Sampel kemudian kembali direndam ke dalam wadah berisi akuades dan diangkat tiap 10 detik serta ditimbang beratnya. Langkah-langkah tersebut dilakukan secara berulang hingga diperoleh berat akhir sampel yang konstan. Air yang diserap oleh sampel dihitung melalui Persamaan 2:

$$\% \text{ absorbansi} = \frac{W - W_0}{W_0}$$

$$\% \text{ ketahan air} = 100 - \% \text{ absorbansi} \quad (2)$$

Dimana W adalah berat sampel yang mengandung air dan W₀ merupakan berat sampel mula-mula.

Analisa data

Penelitian ini menggunakan analisa statistika dengan rancangan dasar Rancangan

Acak Kelompok (RAK) 5 perlakuan dan 5 ulangan. Kelompok perlakuan dalam penelitian ini adalah konsentrasi maleic anhydride 0; 1; 3; 6 dan 10% serta waktu analisis sebagai kelompok ulangan. Apabila perlakuan berpengaruh nyata, maka dilanjutkan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) dengan taraf 5%.

Hasil dan Pembahasan

Ekstraksi Karagenan

Ekstraksi maserasi adalah salah satu jenis ekstraksi yang dilakukan dengan cara merendam bahan baku dalam pelarut yang sesuai selama periode waktu tertentu untuk mengekstrak komponen yang diinginkan dari bahan tersebut (Agustini, 2018). Menurut penelitian Abdul Khalil *et al.* (2017) selain mengandung karagenan, rumput laut juga mengandung berbagai komponen seperti selulosa, protein, dan lemak. Senyawa karagenan yang terkandung pada daun rumput laut akan lebih banyak dihasilkan jika diekstraksi menggunakan metanol, karena metanol bersifat polar sehingga akan lebih mudah larut dibandingkan pelarut lain [20]. Ekstraksi maserasi umumnya dianggap sebagai metode ekstraksi yang mudah dan murah, serta dapat dilakukan dengan peralatan yang sederhana serta memastikan bahwa zat yang diekstraksi tidak rusak (Savitri & Suhendra, 2017).

Nilai *yield* karagenan dari rumput laut *Kappaphycus alvarezii* menunjukkan nilai rata-rata sebesar 38,17% ± 3,04. Sebagai perbandingan, hasil yang diperoleh pada penelitian (Basiroh dkk., 2016) menunjukkan nilai *yield* sebesar 42,08%. Perbedaan umur panen dan jenis rumput laut pada penelitian ini dimungkinkan mempengaruhi *yield* karagenan yang dihasilkan. Umur panen rumput laut dapat mempengaruhi kandungan karagenan di dalamnya, karena karagenan terakumulasi dalam jaringan utama rumput laut selama periode pertumbuhan. Umur panen rumput laut umumnya berkisar antara 45 hingga 60 hari, tergantung pada jenis rumput laut yang digunakan dan kondisi lingkungan di lokasi penanaman (Zainuddin, 2016). Pada umur panen yang lebih tua, karagenan cenderung mengalami degradasi (Yusuf, 2013). Sebaliknya, pada umur panen yang lebih muda, kandungan karagenan di dalam rumput laut masih relatif rendah karena

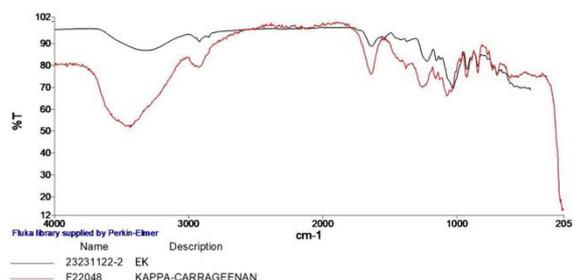
masih dalam tahap pertumbuhan (Marseno dkk., 2010). Kandungan karagenan dalam rumput laut dipengaruhi oleh lokasi tempat tumbuhnya. Faktor ini dapat disebabkan oleh kemampuan rumput laut dalam menyerap nutrisi yang tersedia di lingkungan tempat tumbuhnya. Kemampuan adaptasi rumput laut terhadap kondisi perairan yang berbeda di setiap lokasi juga berperan dalam menentukan kandungan karagenan (Sangkia dkk., 2018).

Uji kemurnian

Uji kemurnian pada ekstrak karagenan dari rumput laut sangat penting dalam memastikan bahwa ekstrak karagenan tersebut bebas dari kontaminan dan kotoran yang dapat mempengaruhi kualitasnya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gravimetri, yang merupakan metode yang umum digunakan dalam analisis kuantitatif untuk mengukur berat suatu unsur atau suatu senyawa tertentu (Rahmelia *et al.*, 2015).

Hasil uji kemurnian ekstrak karagenan dari rumput laut menunjukkan nilai sebesar $93,09\% \pm 1,30$. Hasil ini menunjukkan bahwa ekstrak karagenan memiliki tingkat kemurnian yang tinggi dibandingkan dengan sampel rumput laut mentah sebelum diekstrak, yang memiliki nilai uji kemurnian sebesar $83,28\% \pm 2,80$. Perbedaan ini menunjukkan bahwa proses

ekstraksi karagenan mampu meningkatkan kemurnian sampel, hal ini dapat disebabkan oleh ekstraksi yang mampu menghilangkan bahan-bahan terlarut yang tersisa dari rumput laut. Namun, karagenan tetap ada dalam sampel tersebut (Nasrollahzadeh, 2021).



Gambar 1. Perbandingan Spektrum FTIR Ekstrak Karagenan (Hitam) dan Kappa Karagenan dari Fluka Library (Merah)

Hasil FTIR, dapat diamati dari Gambar 1 bahwa spektrum karagenan yang diekstrak (EK) menunjukkan kemiripan dengan spektrum kappa karagenan. Perbandingan spektrum dengan beberapa senyawa yang terdapat dalam Fluka Library menunjukkan bahwa tingkat kemiripan antara ekstrak rumput laut dan kappa karagenan jauh lebih besar daripada senyawa serupa lainnya. Rincian tingkat kemiripan ini dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Spektrum Ekstrak Karegenan dengan Spektrum Serupa Berdasarkan *Data Base* Fluka Library

Search Score	Search Reference	Search Reference Spectrum Description
0,652934	F22048	Kappa-Carrageenan ($C_{24}H_{36}O_{25}S_2^{-2}$)
0,586449	F28705	α -Cyclodextrin ($C_{36}H_{60}O_{30}$)
0,581771	F28707	β -Cyclodextrin ($C_{42}H_{70}O_{35}$)
0,574596	F56760	3-(2-imidazolin-1-yl)propyl triethoxy silane ($C_{12}H_{26}N_2O_3Si$)
0,574596	F09326	3-Aminopropyltrimethoxysilane ($C_6H_{17}NO_3Si$)
0,559406	F88561	Thiodiethyleneglycol ($C_4H_{10}O_2S$)
0,542505	F88420	Thiophene-2-ethanol (C_6H_8OS)
0,542221	F09324	3-aminopropyltriethoxysilane ($C_9H_{23}NO_3Si$)
0,540052	F95020	Dimethyl vinylphosphonate ($C_4H_9O_3P$)
0,512473	F72030	Sodium tetrathionate dihydrate ($Na_2S_4O_6 \cdot 2H_2O$)

Daya tahan terhadap air

Bioplastik karagenan ini memiliki sifat alami yang sangat mudah berikatan dengan air terhadap air (Harijono *et al.*, 2001). Penyerapan air dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik dari bioplastik yang dihasilkan. Uji penyerapan air menjadi langkah penting yang harus

dilakukan untuk memastikan kualitas dan performa bioplastik yang dihasilkan. Uji ini bertujuan untuk mendeteksi perbedaan dalam kemampuan penyerapan air antara berbagai perlakuan yang diberikan pada bioplastik karagenan. Hal ini penting karena penyerapan air yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan

kekuatan dan kekakuan Bioplastik (Gáspár *et al.*, 2005). Pengujian dilakukan dengan lima perlakuan dan hasil penyerapan air ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Daya Tahan Terhadap Air Tiap Perlakuan Bioplastik Karagenan

Perlakuan	Water Resistance (%)				
	Kontrol	MA 1%	MA 3%	MA 6%	MA 10%
Rata-rata		7,40	67,00	83,00	85,40
n ±	0,00 ±	±	± 4,21	± 2,59	0 ±
SE	0,00	2,48			1,12
W=	(a)	(a)	(b)	(c)	(c)
8,93					

Keterangan:

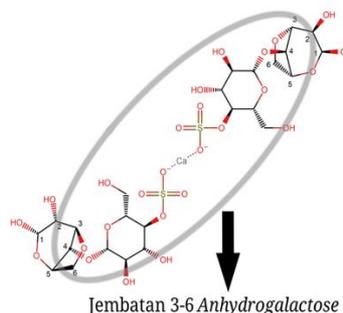
W = BNJ 5%

Data dengan huruf yang berbeda menunjukkan antar perlakuan berbeda nyata

Hasil pada **Tabel 2.** hasil terbaik berada pada konsentrasi MA 6%. Senyawa-senyawa seperti gliserol, ion Ca^{2+} , asam laktat, dan anhidrida maleat yang ditambahkan selama produksi bioplastik rumput laut mempengaruhi nilai penyerapan air dari bioplastik yang diperoleh. Penambahan ion Ca^{2+} dapat mempengaruhi daya serap air bioplastik (Saleh, 2011). Ion Ca^{2+} memiliki sifat *divalent* karena energi afinitasnya yang tinggi. Gugus ester sulfat pada κ -karagenan memiliki afinitas yang tinggi terhadap kation seperti kalsium (Ca^{2+}). Ketika kalsium hadir dalam lingkungan yang tepat, gugus ester sulfat berikatan dengan ion kalsium dan membentuk ikatan silang. Proses ini disebut *gelling* atau penggumpalan, di mana struktur gel yang lebih rapat dan kaku terbentuk (Lee & Mooney, 2012).

Ikatan silang antara gugus ester sulfat dan ion kalsium pada karagenan memberikan stabilitas dan kekakuan pada struktur gelnya. Ion Ca^{2+} membantu membentuk agregat *double helices* yang lebih besar dan stabil dalam gel karagenan. Agregat ini memberikan kekuatan dan tekstur pada gel karagenan yang bersifat *thermal-reversible*, artinya dapat melarut kembali saat dipanaskan (Harsujuwono & Arnata, 2017). Ikatan ini terlihat pada Gambar 2. Ion Ca^{2+} mengikat gugus ester sulfat (O-SO_3^-) dan membentuk jembatan antara molekul-molekul 3,6-*anhydrogalactose*. Ion Ca^{2+} mengurangi muatan negatif pada struktur *double helix* dan mengurangi tolakan elektrostatis antar-

molekul, yang mendorong pembentukan agregat *double helices* dalam gel dengan ikatan yang lebih kuat dan stabil. Keberadaan agregat *double helices* ini memberikan kontribusi pada kekuatan dan kestabilan bioplastik yang dihasilkan dari karagenan (Kara *et al.*, 2003).



Gambar 1. Reaksi Karagenan dengan ion Ca^{2+}

Anhidrida maleat berperan untuk mereduksi gugus hidroksil yang ada pada molekul karagenan (Lorensius *et al.*, 2021). Semakin tinggi konsentrasi anhidrida maleat yang digunakan, semakin besar kemungkinan terjadinya ikatan antara anhidrida maleat dengan gugus hidroksil pada karagenan. Proses ini menyebabkan terbentuknya ikatan ester antara agen penginduksi gel dan gugus hidroksil pada karagenan. Ikatan kovalen antara C-O-C meningkatkan kekuatan intermolekuler dalam bioplastik, yang berdampak pada sifat hidrofobik yang lebih baik dan kemampuan penyerapan air yang lebih rendah (Sulistyo *et al.*, 2018).

Ikatan antara agen penginduksi gel dan gugus hidroksil pada karagenan membuat sifat hidrofobik pada bioplastik menjadi lebih meningkat. Hal ini berarti bioplastik tersebut memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan penyerapan air atau *water uptake*. Semakin tinggi konsentrasi anhidrida maleat yang digunakan dalam pengolahan, semakin signifikan pengurangan penyerapan air pada bioplastik yang dihasilkan. Data pada Tabel 2 menunjukkan konsentrasi MA 6% memberikan hasil terbaik

Hasil uji *water uptake* pada bioplastik *Kappaphycus alvarezii* yang telah ditambahkan dengan ion Ca^{2+} dan MA menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Lorensius *et al.*, (2021) rumput laut tanpa ekstraksi menggunakan variasi konsentrasi anhidrida maleat antara 1% hingga 3%. Dalam

penelitian tersebut, didapatkan hasil pada konsentrasi anhidrida maleat sebesar 3% dengan tingkat *water resistance* sebesar 82,49%. Jika membandingkan kedua penelitian ini, peneliti belum bisa menjawab secara pasti mengapa rumput laut tanpa ekstraksi memerlukan anhidrida maleat lebih kecil daripada rumput laut yang sudah diekstraksi karagenanya. Data tambahan yang relevan seperti kandungan ion yang terdapat dalam rumput laut diperlukan untuk memperjelas mengapa hal tersebut terjadi.

Kesimpulan

Hasil ekstraksi karagenan yang diperoleh dari sampel rumput laut sebesar 38,17% dengan kemurnian 93,09%. Spektrum FTIR yang dihasilkan oleh ekstrak karagenan yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki pola yang mirip dengan spektrum kappa karagenan. Bioplastik yang dibuat dengan mencampurkan ekstrak karagenan dengan anhidrida maleat 6% memberikan daya tahan terhadap air paling optimal, sebesar 83%, dibandingkan konsentrasi lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Penelitian Internal dengan SK Rektor No. 185/Pen./Rek./5/V/2021.

Referensi

- Abdul Khalil, H. P. S.; Yap, S. W.; Tye, Y. Y.; Tahir, P. Md.; Rizal, S.; & Nurul Fazita, M. R. (2017). Effects of Corn Starch and *Kappaphycus Alvarezii* Seaweed Blend Concentration On The Optical, Mechanical, and Water Vapor Barrier Properties of Composite Films. *Bioresources*, 13(1), 1157–1173. <https://doi.org/10.15376/Biores.13.1.1157-1173>
- Agustin, A.; Saputri, A. I.; & Harianingsih, H. (2017). Optimasi Pembuatan Karagenan dari Rumput Laut Aplikasinya untuk Perenyah Biskuit. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2(2). <https://doi.org/10.31942/inteka.v2i2.1944>
- Agustini, N. P. E. (2018). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Daun Secang Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Streptococcus mutans* [Karya Tulis Ilmiah]. *Politeknik Kesehatan Kemenkes*, 2018.
- Basiroh, S.; Ali, M.; & Putri, B. (2016). Pengaruh Periode Panen yang Berbeda Terhadap Kualitas Karaginan Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii*: Kajian Rendemen dan Organoleptik Karaginan. *Maspari Journal*, 8(2), 127–135. <https://doi.org/10.56064/maspari.v8i2.3489>
- Bátori, V.; Lundin, M.; Åkesson, D.; Lennartsson, P.; Taherzadeh, M.; & Zamani, A. (2019). The Effect of Glycerol, Sugar, and Maleic Anhydride on Pectin-Cellulose Thin Films Prepared from Orange Waste. *Polymers*, 11(392), 1–14. <https://doi.org/10.3390/polym11030392>
- Budiman, J., Nopianti, R., & Lestari, S. D. (2018). Karakteristik Bioplastik dari Pati Buah Lindur (*Bruguiera gymnorizha*). *Jurnal Fishtech*, 7(1), 49–59. <https://doi.org/10.36706/fishtech.v7i1.5980>
- Darni, Y., & Utami, H. (2010). Studi Pembuatan dan Karakteristik Sifat Mekanik dan Hidrofobisitas Bioplastik dari Pati Sorgum. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 7(4), 88–93.
- Gáspár, M.; Benkő, Zs.; Dogossy, G.; Réczey, K.; & Czigány, T. (2005). Reducing Water Absorption in Compostable Starch-Based Plastics. *Polymer Degradation and Stability*, 90, 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.polymerdegradstability.2005.03.012>
- Harijono, Kusnadi, J., & Mustikasari, S. A. (2001). Pengaruh Kadar Karaginan dan Total Padatan Terlarut Sari Buah Apel Muda Terhadap Aspek Kualitas Permen Jelly. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 2(2), 110–116.
- Harsojuwono, B. A., & Arnata, I. W. (2017). Teknologi Polimer Industri Pertanian. Intimedia,
- Hemsri, S.; Thongpin, C.; Somkid, P.; Sae-arma, S.; & Paiykaew, A. (2015) Improvement of Toughness and Water Resistance of

- Bioplastic Based on Wheat Gluten Using Epoxidized Natural Rubber. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 87(1), 1-9
- Islamiyah, H. S. (2021). Aplikasi Pati Termodifikasi pada Kemasan Biodegradable Berbasis Karagenan dari *Eucheuma cottonii* terhadap Kemampuan Biodegradasi dan Sifat Mekanik. [Skripsi]. Universitas Airlangga
- Jayarathna, Shishanthi, Mariette Andersson, and Roger Andersson. (2022). "Recent Advances in Starch-Based Blends and Composites for Bioplastics Applications" *Polymers* 14, no. 21: 4557. <https://doi.org/10.3390/polym14214557>
- Kara, S.; Tamerler, C.; Bermek, H.; & Pekcan, O. (2003). Cation Effects on Sol-Gel and Gel-Sol Phase Transitions of K-Carrageenan-Water System. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31, 177–185, 10.1016/s0141-8130(02)00080-6
- Kereh, V. G.; Kusnandar, F.; & Wibawan, I. W. T. (2018). Karakteristik Kimia Ekstrak Rumput Laut Serta Kemampuannya Menghambat Bakteri *Salmonella sp.* *Jurnal Veteriner*, 19(4), 467–477.
- Lee, K. Y., & Mooney, D. J. (2012) Alginate: Properties and Biomedical Applications. *Progress in Polymer Science*, 37(1), 106–126. <https://doi.org/10.1016/J.Progpolymsci.2011.06.003>
- Lorensius, V. W.; Aminu, N. R.; & Riyanto, C. A. (2021). Perbandingan Metode Kering dan Metode Basah Dalam Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii* Dengan Penambahan Ion Ca^{2+} dan Maleic Anhydride [Skripsi]. Universitas Kristen Satya Wacana
- Marfu'ah, Z. (2015). *Pengaruh Variasi Komposisi Low Density Polyethylene (LDPE) dan Pati Bonggol Pisang untuk Pembuatan Plastik Biodegradable*. [Skripsi], Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Marseno, D. W.; Medho, M. S.; & Haryadi. (2010). Pengaruh Umur Panen Rumput Laut *Eucheuma cottonii* Terhadap Sifat Fisik, Kimia dan Fungsional Karagenan. *Agritech*, 30(4), 212–217.
- Nasrollahzadeh, M. (2021). Biopolymer-Based Metal Nanoparticle Chemistry For Sustainable Applications Volume 1: Classification, Properties and Synthesis (Vol. 1). *Elsevier*
- Nurhayati, E.; Latifah.; Widiarti, N. (2013). Sintesis Plastik *Biodegradable* Amilum Biji Durian Dengan Gliserol Sebagai Penambah Elastisitas (*Plasticizer*). *Saintekno*, 11(1), 57-64. <https://doi.org/10.15294/saintekno.v11i1.5564>
- Patel, M., Islam, S., Kallem, P. *et al.* (2023). Potato starch-based bioplastics synthesized using glycerol–sorbitol blend as a plasticizer: characterization and performance analysis. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 20, 7843–7860. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04492-2>
- Pratiwi, R., Rahayu, D., & Barli, M. (2016). Pemanfaatan Selulosa dari Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) sebagai Bahan Bioplastik. 2016, *IJPST*, 3(3), 83-91, <https://doi.org/10.15416/ijpst.v3i3.9406>
- Putri, G. R.. (2019). Karakterisasi Bioplastik dari Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) dan Pati Singkong Dengan Penambahan Pati Biji Alpukat. *Risenologi*, 4(2). 59-64, <https://doi.org/10.47028/j.risenologi.2019.42.52>
- Rahmelia, D.; Diah, A. W. M.; & Said, I. (2015). Analisis Kadar Kalium (K) dan Kalsium (Ca) Dalam Kulit dan Daging Buah Terung Kopek Ungu (*Solanum Melongena*) Asal Desa Nupa Bomba Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala. *Jurnal Akademika Kimia*, 4(3), 143–148.
- Saleh, N. (2011). Karakteristik dan Pengaruh Ion Ca^{2+} Pada Adsorpsi Ion Bikromat Oleh Humin. *Jurnal Penelitian Sains*, 14(2), 22–27
- Sangkia, F. D.; Gerung, G. S.; & Montolalu, R. I. (2018). Analisis Pertumbuhan dan Kualitas Karagenan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* Pada Lokasi Berbeda di Wilayah Perairan Banggai Provinsi Sulawesi Tengah. *Journal of Aquatic Science & Management*, 6(1), 22. <https://doi.org/10.35800/Jasm.6.1.2018.24812>

- Saputro, A. N. C., & Ovita, A. L. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik dari Kitosan-Pati Ganyong (*Canna edulis*). *JKPK*, **2017** 2(1), 13–21. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v2i1.8526>
- Savitri, I., & Suhendra, L. (2017). Pengaruh Jenis Pelarut Pada Metode Maserasi Terhadap. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 5(3), 93–101.
- Sulistyo, F. T.; Utomo, A. R.; Setijawati, E. (2018) Pengaruh Konsentrasi Karagenan Terhadap Karakteristik Fisikokimia Edible Film Berbasis Gelatin. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Gizi*, 17(2), 75–80.
- Suryani, R. R. (2021). *Pemanfaatan protein ampas tahu sebagai bahan dasar pembuatan Bioplastik (Plastik Biodegradable)*. [Skripsi], UIN Sunan Ampel Surabaya,
- Wasilah. (2017). Substitusi Bubur Rumput Laut (*Eucheuma cottonii*) Dan Berbagai Jenis Tepung Singkong untuk Peningkatan Kualitas Nugget Ayam.. [Skripsi], Universitas Muhamadiyah Malang
- Winarno. (1997). *Kimia Pangan dan Gizi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Yusuf, N. R. (2013). *Analisis Keberlanjutan Budidaya Rumput Laut *Kappaphycus Alvarezii* (Doty) Doty di Kecamatan Binamu Kabupaten Jenepono* [Tesis]. Universitas Hasanuddin,
- Zainuddin, F. (2016). Kualitas Karaginan Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* Asal Maumere dan Tembalang pada Budidaya Sistem Longline. *Jurnal Agrominansia*, 1(2), 117–128.