

Pengaruh Konsentrasi CaCl_2 terhadap Bioplastik dari Pati Garut (*Maranta Arundinacea* L.) dan Karagenan

KEVIN MARDIANSYAH BAYU ARDANA¹, ESA SOFARIAH¹, SYIFA AKMALIA ZAHRA¹, GINA GIFTIA AZMIANA DELILAH¹, DAN SONI SETIADJI^{1*}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati, Jl. A.H. Nasution No. 105, Cibiru, Bandung, Jawa Barat

*alamat email korespondensi: s.setiadji@uinsgd.ac.id

Informasi Artikel

Abstrak/Abstract

Kata Kunci:
Bioplastik; pati
garut; karagenan;
*Maranta
arundinacea*;
Eucheuma cottonii.

Plastik digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena dinilai murah dan praktis. Sifatnya yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme menyebabkan plastik bertahan hingga bertahun-tahun dan akhirnya menimbulkan penimbunan sampah plastik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuat plastik yang terbuat dari bahan alam yaitu bioplastik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan sampah. Bahan utama yang dipilih adalah pati garut (*Maranta arundinacea* L.) dan karagenan. Pada penelitian ini telah dibuat bioplastik dari pati garut, karagenan, CaCl_2 dan gliserol. Bioplastik ini dibuat dengan memvariasikan konsentrasi CaCl_2 yaitu 1%, 2%, dan 3% (b/v). Komposit dibuat dengan mencampurkan 25 ml CaCl_2 , 2,670 g pati, 1,335 g karagenan, 60 ml air dan 2,5 ml gliserol diaduk dan dipanaskan pada suhu 70-80 °C selama 1 jam. Lalu komposit di cetak dan di oven pada suhu 60° C selama 12 jam membentuk lembaran plastik. Ketiga sampel memiliki kuat tarik pada nilai 6,8-6,2 MPa, elongasi pada nilai 0,041-0,043 dan derajat *swelling* pada nilai 23,98-28,38%. Ketiga sampel memiliki ketebalan sekitar 0,1522-0,1512 mm.

Keywords:
Bioplastic;
arrowroot starch;
carrageenan;
*Maranta
arundinacea*;
Eucheuma cottonii

*Everyday life uses plastics because they are affordable and practical. Plastics' resistance to degradation by microorganisms allows them to persist for many years, resulting in the accumulation of plastic waste. Therefore, in this research, we developed environmentally friendly bioplastics from natural materials to prevent waste. We chose arrowroot starch (*Maranta arundinacea* L.) and carrageenan as the main materials. In this study, bioplastics were made from arrowroot starch, carrageenan, CaCl_2 , and glycerol. These sheets were made by varying the concentration of CaCl_2 to 1%, 2%, and 3%. The bioplastics was made by mixing 25 ml of CaCl_2 , 2.670 g of starch, 1.335 g of carrageenan, 60 ml of water, and 2.5 ml of glycerol, followed by stirring and heating at a temperature of 70–80 °C for 1 hour. The composite was then moulded and oven-dried at 60 °C for 12 hours to form plastic sheets. The three samples had tensile strength values of 6.8–6.2 MPa, elongation values of 0.041–0.043, and swelling degree values of 23.98–28.38%. The three samples had a thickness of approximately 0.1522–0.1512 mm.*

PENDAHULUAN

Plastik merupakan jenis makromolekul yang terbentuk melalui proses penggabungan beberapa monomer dengan proses kimia. Plastik digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena dinilai murah dan praktis. Sifatnya yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme menyebabkan plastik bertahan hingga bertahun-tahun dan akhirnya menimbulkan penimbunan sampah

plastik [1]. Menurut Data Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik tiap tahunnya, menduduki peringkat kedua penghasil sampah plastik terbanyak di dunia [2].

Penggunaan plastik menimbulkan banyak dampak negatif sehingga mendorong adanya penelitian mengenai bahan alternatif pengganti plastik. Plastik dari bahan alam (bioplastik) dapat menjadi alternatif pengganti karena mempunyai

fungsi seperti plastik tetapi mudah terurai oleh mikroorganisme. Bahan pembuatan bioplastik ini di antaranya adalah pati, alginat, karagenan, kitosan dan selulosa. Bahan tersebut berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui dan mudah didapatkan [3].

Pati merupakan senyawa yang tersusun dari polisakarida, polipeptida dan lipida. Senyawa penyusun tersebut mempunyai sifat termoplastik sehingga mempunyai potensi untuk dibentuk atau dicetak. Salah satu keunggulan dari pati adalah bahannya yang berasal dari sumber terbarukan yang dapat dihancurkan secara alami atau *biodegradable* [4]. Salah satu pati yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pati garut yang berasal dari ekstraksi umbi garut. Umbi garut (*Maranta arundinacea* L.) mempunyai kadar pati relatif tinggi, yaitu sebesar 80–98% [5]. Kelimpahan produksi umbi garut dapat mencapai 7,5–45 ton per hektar. Dengan kemudahan pembudidayaan dan kelimpahan produksinya, pati garut mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan baku bioplastik [6]. Karagenan merupakan senyawa hidrokoloid yang berasal dari rumput laut *Rhodophyceae*, jenis rumput laut yang biasa digunakan, yaitu *Eucheuma cottonii*. Karagenan dapat digunakan sebagai bahan baku bioplastik karena karagenan memiliki beberapa kelebihan di antaranya dapat membentuk bioplastik yang kuat, mudah terurai serta ramah lingkungan [7].

Dalam mengoptimalkan kinerja kombinasi pati garut dan kitosan, diperlukan pengikat silang untuk meningkatkan sifat mekanik dari bioplastik. Berdasarkan penelitian dari Paşcalău *et al* (2019) mengenai pembuatan komposit film dari alginat dan karagenan dengan CaCl_2 sebagai pengikat silang. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan komposit yang terikat silang mempunyai struktur yang lebih stabil. Pada penelitian ini dilakukan penambahan CaCl_2 sebagai pengikat silang. Penambahan agen pengikat silang sangat penting untuk meningkatkan kekuatan mekanik karena dapat meningkatkan berat molekul dan membatasi rantai polimer [8].

Penggunaan hidrokoloid seperti karagenan sebagai bioplastik mempunyai kekurangan yaitu kurang elastis dan rapuh, sehingga dalam proses pembuatan bioplastik perlu ditambahkan pemlatis untuk meningkatkan fleksibilitas dan elastisitas dari bioplastik. Pada

bioplastik penggunaan pemlatis gliserol lebih baik dibanding sorbitol, karena bioplastik yang dihasilkan lebih fleksibel dan tidak rapuh, serta sifat mekanik dan penampilannya tidak berubah selama penyimpanan [9].

EKSPERIMEN

Pada studi kali ini dilakukan pembuatan bioplastik dari pati garut-karagenan dengan pengikat silang CaCl_2 dan pemlatis gliserol. Optimasi komposit dilakukan dengan variasi konsentrasi pengikat silang, yakni 1%, 2% dan 3%. Kemudian bioplastik diuji sifat mekaniknya dengan uji tarik yang meliputi kuat tarik, elongasi dan *modulus young* serta uji *swelling*. Bioplastik dengan sifat mekanik paling baik dilakukan karakterisasi dengan uji Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).

Material

Bahan-bahan yang digunakan adalah tepung pati garut komersil, karagenan komersil, CaCl_2 (Merck), gliserol (Merck) dan akuades.

Instrumentasi

Instrumen yang digunakan terdiri dari spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR) untuk analisis gugus fungsi dan Universal Testing Machine (UTM) untuk uji mekanik.

Prosedur

Penelitian ini terdiri dari pembuatan bioplastik dari pati garut, karagenan, CaCl_2 dan gliserol, kemudian dilakukan uji bioplastik.

Pembuatan Bioplastik Pati Garut dan Karagenan dengan Pengikat Silang CaCl_2

Pembuatan bioplastik dari pati garut dan karagenan dilakukan dengan memvariasikan larutan pengikat silang CaCl_2 . Larutan CaCl_2 dibuat sebanyak 25 mL dengan konsentrasi yang digunakan adalah 1%, 2% dan 3% (b/v). Kemudian, ke dalam larutan CaCl_2 ditambahkan 2,67 g pati garut dan 1,33 g karagenan, 60 mL akuades, serta 2,5 mL gliserol, kemudian diaduk hingga homogen. Selanjutnya larutan dipanaskan pada suhu 70–80 °C selama 1–2 jam sehingga terbentuk larutan yang kental. Selama proses

pemanasan, gelas beker ditutup dengan alumunium foil dan pemanasan dilakukan menggunakan penangas air. Kemudian larutan dicetak ke dalam cawan petri dan dioven pada suhu 60°C selama 12 jam.

Karakterisasi Bioplastik Pati Garut dan Karagenan dengan Pengikat silang CaCl₂

Uji Swelling

Uji *swelling* bertujuan untuk mengetahui kemampuan lembaran komposit dalam menyerap air. Uji *swelling* dilakukan dengan menimbang bioplastik kering (W_{kering}). Kemudian, bioplastik kering direndam dalam air selama 10 detik, dipisahkan air yang ada di permukaan bioplastik dan ditimbang sehingga didapatkan berat basah (W_{basah}). Hal ini dilakukan berulang hingga diperoleh massanya konstan. Berat basah (W_{basah}) dan berat kering (W_{kering}) yang diperoleh dihitung menggunakan persamaan :

$$Swelling(\%) = \frac{W_{basah} - W_{kering}}{W_{kering}} \times 100\%$$

Uji Tarik

Pada uji tarik dilakukan dengan menggunakan alat *autograph*. Lembaran bioplastik yang akan diuji dipotong dengan ukuran 4x1 cm, lalu dikaitkan pada alat *autograph*. Masing-masing ujung lembaran dikaitkan dengan alat uji dan penarik dipasang beban dengan satuan kgF (kilogram-Force). Kemudian, lembaran ditarik dengan kecepatan 1 cm/menit sampai lembaran putus, lalu besar beban penarik dan perubahan panjang pada lembaran saat putus dicatat. Selanjutnya nilai kuat tarik, elongasi dan *modulus young* dihitung dengan persamaan :

$$Kuat\ Tarik(\sigma) = \frac{F}{A}$$

$$Elongasi(\epsilon) = \frac{\Delta L}{L}$$

$$Modulus\ Young(\epsilon) = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Penentuan Gugus Fungsi dengan FTIR

Penentuan gugus fungsi yang terdapat pada lembaran bioplastik pati garut-karagenan dengan pengikat silang CaCl₂ dapat diketahui dengan pengujian menggunakan instrumen FTIR. Uji dilakukan dengan pembentukkan pelet KBr, sebanyak 2 gram sampel dihaluskan dan dicampur dengan KBr. Kemudian, campuran ditekan dengan alat tekan hidrolik 10.000-15.000 Psi dan lempengan tipis dipasang dalam sel dan ditempatkan pada berkas jalannya sinar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Bioplastik Pati Garut dan Karagenan dengan Pengikat Silang CaCl₂

Pembuatan komposit dimulai dengan membuat masing-masing larutan CaCl₂ sesuai dengan konsentrasinya dan dimasukkan kedalam gelas beker. CaCl₂ berfungsi sebagai pengikat silang pada komposit yang dapat meningkatkan kekuatan ikatan antara pati garut dan karagenan. Selanjutnya, ke dalam larutan CaCl₂ ditambahkan 2,67 gram pati garut, 1,33 gram karagenan dan 60 mL akuades sambil dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer*. Kemudian, ke dalam larutan ditambahkan gliserol 2,5 mL sebagai pemlatis yang berfungsi untuk meningkatkan fleksibilitas komposit. Larutan dipanaskan pada rentang suhu 70-80 °C agar komposit dari pati garut dan karagenan menjadi homogen.

Selama pemanasan, terjadi proses gelatinisasi pada larutan dimana pada proses gelatinisasi ini granula pati mengalami pembengkakan yang dapat mengurangi volume air bebas dalam fase diskontinyu. Berkurangnya volume air bebas akan menyebabkan peningkatan konsentrasi dari hidrokoloid, karena air bebas yang terdapat dalam suspensi (sistem pati-hidrokoloid) banyak terserap dalam granula pati, sehingga menyebabkan viskositas meningkat ketika mengalami pemanasan atau disebut dengan gelatinisasi [10-22].

Proses pencetakan larutan komposit dilakukan pada cawan petri dan dilakukan pengovenan selama 12 jam pada suhu 60°C. Setelah itu, lembaran komposit dibiarkan 1-2 hari pada suhu ruang dan dilepaskan pada cawan petri. Lembaran komposit terbentuk pada saat proses pengovenan berlangsung. Larutan komposit mengalami penguapan air sehingga

terjadi pengerutan partikel yang akan membentuk lembaran. Lembaran yang dihasilkan dalam penelitian ini berwarna sedikit kuning dan transparan, tidak kaku, serta homogen. **Gambar 1** menunjukkan lembaran bioplastik yang dihasilkan.

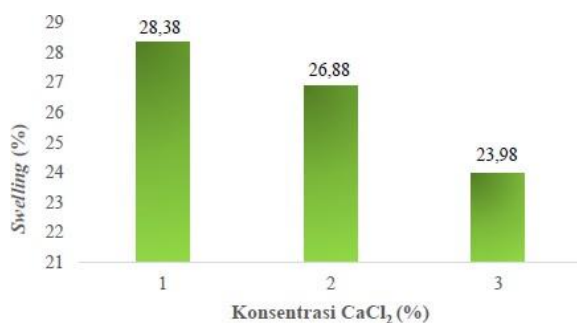


Gambar 1 Lembaran bioplastik pati garut-karagenan dengan konsentrasi pengikat silang (a) CaCl_2 1% (b) CaCl_2 2% (c) CaCl_2 3%.

Karakterisasi Bioplastik Pati Garut dan Karagenan dengan Pengikat silang CaCl_2

Uji Swelling

Uji *swelling* digunakan untuk mengetahui komposisi pengikat silang CaCl_2 terhadap persen air yang diserap oleh lembaran bioplastik. Sifat ketahanan lembaran bioplastik terhadap air ditentukan dengan uji *swelling*, yaitu persentase pengembangan lembaran bioplastik terhadap air. Hasil uji *swelling* air lembaran bioplastik pati garut-karagenan dengan variasi konsentrasi CaCl_2 dapat dilihat pada **Gambar 2**



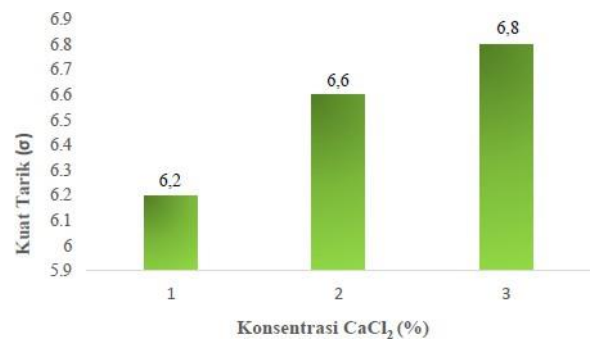
Gambar 2 Grafik pengaruh konsentrasi CaCl_2 terhadap derajat *swelling* (%).

Berdasarkan **Gambar 2**, semakin tinggi komposisi pengikat silang CaCl_2 yang digunakan, persentase derajat *swelling* semakin mengecil. Sehingga lembaran yang memiliki derajat *swelling* terkecil adalah lembaran dengan

komposisi CaCl_2 3% dengan nilai derajat *swelling* sebesar 23,98%. Hal tersebut terjadi karena semakin besar konsentrasi CaCl_2 maka semakin besar kekuatan ioniknya di mana semakin stabil jaringan atau ikatan yang terbentuknya [23].

Uji Tarik

Karakteristik mekanik dari suatu lembaran bioplastik terdiri dari: kuat tarik (*tensile strength*), elongasi (*elongation*) dan modulus *young*. Uji tarik ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan bioplastik saat ditarik dengan gaya tertentu. Kuat tarik menyatakan tekanan yang bisa ditahan oleh film sampai sobek. Hasil kuat tarik komposit pati garut-karagenan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

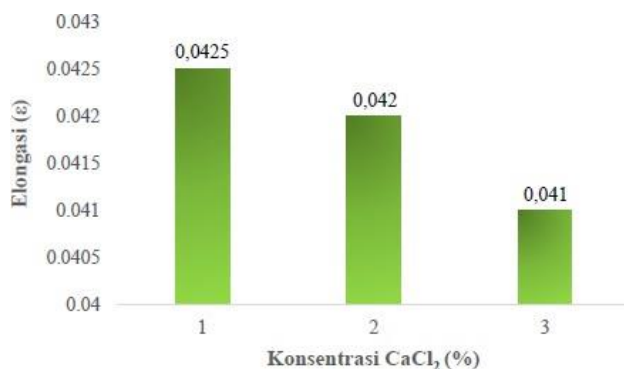


Gambar 3 Grafik pengaruh konsentrasi CaCl_2 terhadap kuat tarik bioplastik.

Berdasarkan **Gambar 3**, menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi CaCl_2 , semakin besar pula kuat tarik yang dihasilkan. Sehingga bioplastik yang memiliki kuat tarik terbesar adalah bioplastik dengan konsentrasi CaCl_2 3% dengan nilai kuat tarik sebesar 6,8 MPa. Hasil ini disebabkan karena pengaruh kandungan Ca^{2+} pada CaCl_2 yang meningkatkan kekakuan dari bioplastik [24].

Pengukuran kuat tarik bioplastik biasanya diikuti dengan pengukuran pemanjangan atau elongasi. Elongasi adalah deformasi yang terjadi pada saat bahan diberi suatu gaya dan mengalami perubahan ukuran maupun bentuk sebagai akibat regangan oleh gaya yang bekerja padanya sehingga menjadi lebih panjang. Sifat ini sangat penting dan mengindikasikan kemampuan lembaran dalam menahan beban sebelum lembaran putus [25].

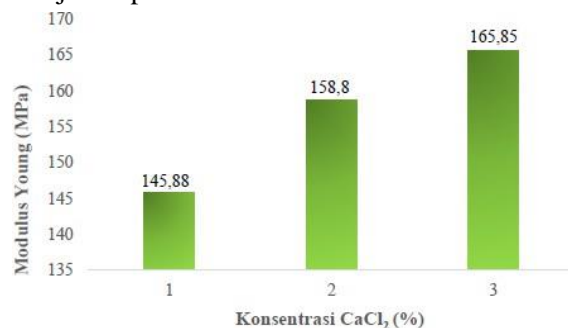
Hasil elongasi bioplastik pati garut-karagenan ditampilkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Grafik Pengaruh Konsentrasi CaCl₂ terhadap Elongasi Komposit.

Berdasarkan **Gambar 4**, menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi CaCl₂, nilai elongasi semakin kecil. Hasil tersebut disebabkan karena kandungan kalsium pada CaCl₂ yang meningkatkan kekakuan sehingga nilai elongasi berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik. Bioplastik dengan nilai elongasi terkecil hasil penelitian ini adalah pada konsentrasi CaCl₂ 3%. Menurut pendapat Derwati dan Pranoto, semakin kuat lembaran yang terbentuk maka semakin sulit bagi lembaran untuk memanjang sehingga memperkecil nilai perpanjangan [26].

Ukuran kekakuan suatu bahan dapat dianalisis dengan memperhatikan nilai *modulus young*. Semakin kaku suatu bahan, maka nilai *modulus young* yang dimiliki oleh bahan akan semakin besar. Nilai *modulus young* berbanding lurus dengan kuat tarik (*tensile strength*) dan berbanding terbalik dengan elongasi. Hasil *modulus young* bioplastik pati garut-karagenan ditunjukkan pada **Gambar 5**.

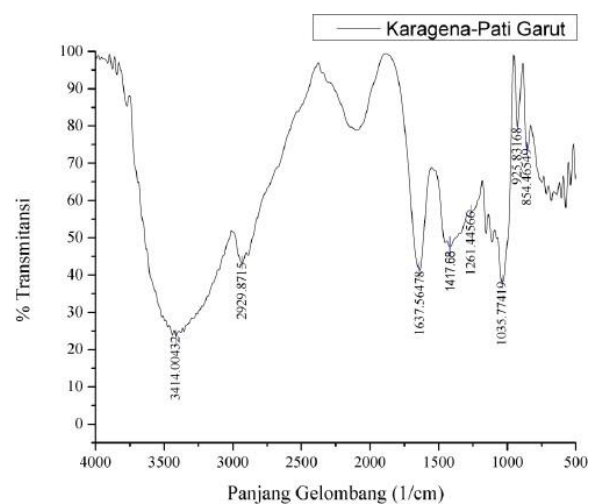


Gambar 5 Grafik pengaruh konsentrasi CaCl₂ terhadap nilai *modulus young* bioplastik.

Berdasarkan **Gambar 5** menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi CaCl₂, semakin besar pula nilai *modulus young* yang dihasilkan. Sehingga lembaran komposit pati garut-karagenan dengan konsentrasi CaCl₂ 3% mempunyai nilai *modulus young* tertinggi yaitu sebesar 165,85 MPa. Semakin tinggi konsentrasi CaCl₂ pada lembaran, semakin meningkat pula kerapuhannya [24].

Hasil Karakterisasi FTIR

Karakterisasi lembaran komposit dengan spektrofotometer Inframerah (FTIR) bertujuan untuk menganalisis gugus fungsional sampel dari penelitian ini. Pengujian ini dilakukan pada komposit polimer dengan konsentrasi CaCl₂ 3%. Hasil karakterisasi dengan instrumen FTIR ditunjukkan oleh **Gambar 6**.



Gambar 6 Spektra FTIR komposit polimer pati garut-karagenan.

Berdasarkan **Gambar 6** dapat dianalisis beberapa gugus fungsi yang terdapat pada komposit polimer dengan konsentrasi CaCl₂ 3%, spektrum inframerah memperlihatkan adanya serapan gugus fungsi hidroksil (OH) pada bilangan gelombang 3414 cm⁻¹, gugus CH pada 2929,87 cm⁻¹, ikatan C=O pada 1637,56 cm⁻¹, ikatan S=O pada ester sulfat dengan bilangan gelombang 1261,44 cm⁻¹, ikatan glikosidik pada 1035,77 cm⁻¹, ikatan C-O pada 3,6-anhidro-D-galaktosa dengan bilangan gelombang 925,85 cm⁻¹, dan ikatan C-O-SO₃ pada C4 galaktosa dengan bilangan gelombang 854,46 cm⁻¹.

Tabel 1. Gugus fungsi pada komposit polimer

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Literatur (cm ⁻¹)	Gugus Fungsi
3414	3480-3440	Ikatan OH
2929	2928-2932	Ikatan CH
1637	1633-1639	Ikatan C=O
1417	1413	Ikatan CH ₂
1261	1220-1260	Ikatan S=O
1035	1035-1049	Ikatan C-O-C
925	925-935	Ikatan C-O
854	840-850	Ikatan C-O-SO ₃

Hasil ini telah sesuai dengan literatur [24] sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**, tidak adanya pita serapan air pada bilangan gelombang 1648 cm⁻¹ dari komposit polimer ini menunjukkan bahwa pelarut air telah menguap sepenuhnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa berdasarkan data tersebut komponen pembentuk komposit polimer sesuai dengan bahan yang digunakan.

SIMPULAN

Pengaruh penambahan pengikat silang CaCl₂ terhadap karakteristik bioplastik ialah mampu meningkatkan nilai ketebalan, kuat tarik dan *modulus young*, serta menurunkan nilai *swelling* air dan elongasinya. Lembaran komposit terbaik pada penelitian ini adalah komposit dengan konsentrasi CaCl₂ 3% dengan nilai *swelling* air 23,88%, kuat tarik 6,8 MPa, elongasi 0,041 dan nilai *modulus young* 165,85 MPa serta ketebalan 0,153 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan lancar. Kemudian, terima kasih terhadap semua pihak yang membantu penulis dalam menulis artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] P. Purwaningrum, "Upaya Mengurangi Timbulan Sampah Plastik di Lingkungan," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 8, no. 2, p. 141–147, 2016.

- [2] D. A. Zanjabila, A. Ridlo and E. Supriyanti, "Karakteristik Bioplastik Berbahan Karagenan-Alginat-Gliserol dengan Penambahan BaCl₂ sebagai Crosslinker," *Journal of Marine Research*, vol. 12, no. 2, pp. 167-176, 2023.
- [3] E. Maneking, H. Sangian and S. Tongkukut, "Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol," *JURNAL MIPA*, vol. 9, no. 1, p. 23–27, 2020.
- [4] Tri Prastyo Rahardiyanto dan Rudiana Agustini, "Pengaruh Gliserol terhadap Titik Leleh Edible film Pati Ubi Kayu," *UNESA Journal of Chemistry*, vol. 2, no. 1, pp. 109-113, 2013.
- [5] Ari Indriyani, "Cookies Tepung Garut (*Maranta arundinacea* L.) dengan Pengkayaan Serat Pangan," Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2007.
- [6] A.G. Ilmannafian, E. Lestari, Halimah, "Pemanfaatan Tepung Garut Sebagai Substitusi Tepung Terigu Dalam Pembuatan Kue Bingka," *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, vol. 5, no. 2, pp. 141-151, 2018.
- [7] Pipih Suptijah, Sugeng Heri Suseno, Kurniawati, "Aplikasi Karagenan sebagai Cangkang Kapsul Alternatif Pengganti Cangkang Kapsul Gelatin," *JPHPI*, vol. 15, no. 3, 2012.
- [8] Violetaa Pascalau at al., "The Alginate/ κ -Carrageenan Ratio's Influence On The Properties of The Cross-linked," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 53, no. 6, pp. 5418-5423, 2019.
- [9] Javier Osés et al., "Stability of the mechanical properties of edible films based on whey protein isolate during storage at different relative humidity," *Food Hydrocolloids*, vol. 23, no. 1, pp. 125-131, 2009.
- [10] T. Funami, Y. Kataoka, T. Omoto and Y. Goto, "Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2a. Functions of guar gums with

- different molecular weights on the gelatinization behavior of corn starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 19, no. 1, pp. 15-24, 2005.
- [11] S Setiadji, et al., "Synthesis of Polydimethylsiloxane and its Monomer from Hydrolysis of Dichlorodimethylsilane", *Key Engineering Materials* 860, 234-238, 2020.
- [12] S Setiadji, et al., "Optimization of Polydimethylsiloxane synthesized parameters as vitreous humour substitutes", *Materials Science Forum* 966, 189-193, 2019.
- [13] DG Auliya, et al., "Physical characterization and in vitro toxicity test of PDMS synthesized from low-grade d4 monomer as a vitreous substitute in the human eyes", *Journal of Functional Biomaterials* 13 (1), 3, 2022.
- [14] S Setiadji, et al., "Synthesis and Characterization of Polydimethylsiloxane (PDMS) with Medium Viscosity via Ring-Opening Polymerization", *Materials Science Forum* 1028, 346-351, 2021.
- [15] DG Auliya, et al., "Synthesis of low viscosity polydimethylsiloxane using low grade of octamethylcyclotetrasiloxane", *Materials Science Forum* 1028, 365-370, 3, 2021.
- [16] S SETIADJI, dkk., "Uji stabilitas bahan polydimethylsiloxane", *J. Material dan Energi Indonesia* 9, 8-17, 2019.
- [17] DG Auliya, et al., "Use of Dichlorodimethylsilane to Produce polydimethylsiloxane as a substitute for vitreous humour: characteristics and in vitro toxicity", *Journal of Functional Biomaterials* 14 (8), 425, 2023.
- [18] U Fauziah, et al., "Synthesis of Polydimethylsiloxane with hydrolysis and condensation methods using monomer of Dichlorodimethylsilane as vitreous humour substitute", *Journal of Physics: Conference Series* 2165 (1), 012026, 2022.
- [19] DG Auliya, et al., "Stability Test and Storage of PDMS as a Biomaterial for Vitreous Humour Substitution in Vitreoretinal Surgery", *Applied Mechanics and Materials* 915, 25-30, 2023.
- [20] VF Arini, et al., "Synthesis of low viscosity of polymethylhydrosiloxane using monomer of dichloromethylsilane", *Journal of Physics: Conference Series* 2165 (1), 012041, 2022.
- [21] W Waslaluudin, et al., "Formulation, Process, and Scale-Up Engineering of Silicone Oil", *Materials Science Forum* 1028, 377-382, 2021.
- [22] D SANDI, dkk., "SINTESIS DAN KARAKTERISASI MONOMER PENGGANTI OCTAMETHYLCYCLOTETRASILOXANE DARI HIDROLISIS SENYAWA DICHLORODIMETHYLSILANE", *Jurnal Material dan Energi Indonesia* 10 (02), 83-88, 2020.
- [23] J Berger et al., "Structure and Interaction In Covalently and Ionically Crosslinked Chitosan Hydrogels for Biomedical Applications," *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, vol. 57, pp. 19-34, 2004.
- [24] F. A. Rakhman and Y. Darni, "Aplikasi Edible Film dari Rumput Laut *Eucheumma cottoni* dan Pati Sorgum dengan Plasticizer Gliserol dan Filler CaCO_3 sebagai Bahan Pembuat Cangkang Kapsul," *JURNAL KELITBANGAN*, vol. 5, no. 2, pp. 172-183, 2017.
- [25] Mariati, "Karakterisasi Sifat Fisikokimia Pati dan Tepung Garut (*Maranta arundinacea*) dari Beberapa Varietas Lokal," in *Institut Pertanian Bogor*, Bogor, 2001.
- [26] UO Rezkiani, dkk., "Aplikasi Pembuatan Edible Film Dari Rumput Laut *Eucheuma Cottonii*-Gelatin Dengan Plasticizer Gliserol Dan Filler CaCO_3 Sebagai Cangkang Kapsul," *Prosiding dalam Rangka Seminar Nasional Riset Industri Ke 3*, 2017.