



Pengaruh Jenis *Plasticizer* Dan Konsentrasi Selulosa Terhadap Karakteristik Bioplastik Pati Singkong–Karagenan

The Effect of Plasticizer Type and Cellulose Concentration on the Characteristics of Cassava Starch–Carrageenan Bioplastics

I Putu Wiradarma Putra, Ni Luh Yulianti*, Ida Bagus Putu Gunadnya, Hertiyana Nur Annisa

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

ABSTRAK

Penggunaan kemasan plastik konvensional yang terus-menerus menimbulkan masalah lingkungan karena sulit terurai secara alami. Bioplastik merupakan salah satu alternatif yang berbasis bahan alami. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui serta menentukan perlakuan terbaik pengaruh jenis *plasticizer* (minyak jarak dan asam stearat) serta konsentrasi selulosa 0,5%, 1%, dan 1,5% (w/v) terhadap karakteristik bioplastik pati singkong–karagenan. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor. Faktor pertama adalah jenis *plasticizer* (P) yang terdiri atas dua jenis, yaitu minyak jarak (P1) dan asam stearat (P2). Faktor kedua adalah konsentrasi selulosa (F) yang terdiri atas tiga taraf, yaitu 0,5%, 1%, dan 1,5% (w/v). Data hasil penelitian dianalisis menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA). Apabila hasil analisis menunjukkan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji lanjutan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis *plasticizer* dan konsentrasi selulosa berpengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, ketahanan air, dan ketebalan namun tidak berpengaruh nyata terhadap nilai WVTR. Kombinasi minyak jarak dengan selulosa 0,5% (w/v) (P1F1) menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi (15,1 MPa) dan elastisitas (412,1 MPa), sedangkan asam stearat dengan selulosa 0,5% (w/v) (P2F1) memberikan perpanjangan saat putus tertinggi (12,4%) dan WVTR terendah (2,13 g/m²/hari). Kesimpulannya, perlakuan jenis *plasticizer* minyak jarak dengan konsentrasi selulosa 0,5% (w/v) adalah kombinasi terbaik untuk bioplastik ramah lingkungan dengan sifat mekanik terbaik dalam penelitian ini.

Kata Kunci: Pati singkong–karagenan, *Plasticizer*, Konsentrasi Selulosa, Isolasi Selulosa, Bioplastik

ABSTRACT

The continuous use of conventional plastic packaging caused environmental problems because it was difficult to degrade naturally. Bioplastic was one of the alternatives based on natural materials. This study aimed to determine the best treatment of the effect of plasticizer type (castor oil and stearic acid) and cellulose concentration of 0.5%, 1%, and 1.5% (w/v) on the characteristics of cassava starch–carrageenan bioplastics. This study used a Randomized Block Design (RBD) with two factors. The first factor was the type of plasticizer (P), consisting of two types: castor oil (P1) and stearic acid (P2). The second factor was cellulose concentration (F), consisting of three levels: 0.5%, 1%, and 1.5% (w/v). The research data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA). If the results showed a significant effect ($P < 0.05$), further tests were carried out using Duncan's Multiple Range Test (DMRT). The results showed that plasticizer type and cellulose concentration significantly affected tensile strength, elongation at break, elasticity, water resistance, and thickness, but had no significant effect on WVTR. The combination of castor oil with 0.5% (w/v) cellulose (P1F1) produced the highest tensile strength (15.1 MPa) and elasticity (412.1 MPa), while stearic acid with 0.5% (w/v) cellulose (P2F1) gave the highest elongation at break (12.4%) and the lowest WVTR (2.13 g/m²/day). In conclusion, the treatment with castor oil as the plasticizer and 0.5% (w/v) cellulose concentration was the best combination for producing environmentally friendly bioplastics with the best mechanical properties in this study.

Keywords: Cassava Starch–Carrageenan, *Plasticizer*, Cellulose Concentration, Cellulose Isolation, Bioplastic

*Corresponding author:

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia.

Email: yulianti@unud.ac.id

Masuk: 30 Juni 2025;

Direvisi: 07 Juli 2025;

Diterima: 01 April 2026;

Terbit: 30 April 2026

PENDAHULUAN

Plastik banyak digunakan karena memiliki sejumlah kelebihan, seperti fleksibel, ringan, tahan lama, murah, dan mudah diperoleh. Namun, plastik juga memiliki kelemahan sebagai bahan pengemas, yaitu sulit terurai secara alami dan dapat mencemari lingkungan. Kemasan plastik berbasis polimer karbon yang berasal dari minyak bumi (*petroleum based*) bersifat tidak mudah terurai di alam (*nonbiodegradable*) (Fransiska et al., 2018). Berdasarkan penelitian Wulandari (2021) menyebutkan bahwa Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik setiap tahunnya dan sebanyak 3,2 juta ton yang berakhir menuju lautan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif kemasan yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu pilihan yang kini semakin banyak dikembangkan adalah bioplastik. Bioplastik merupakan jenis kemasan yang ramah lingkungan karena dibuat dari bahan-bahan alami dan dirancang agar mudah terurai melalui proses enzimatik oleh mikroorganisme seperti bakteri dan jamur (Pratiwi et al., 2016). Salah satu bahan utama dalam pembuatan bioplastik adalah pati. Pati termasuk polimer alami dari golongan hidrokoloid yang terdiri atas polisakarida (karbohidrat), polipeptida (protein), dan lipid. Ketiga komponen tersebut bersifat termoplastik sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam produksi bioplastik (Siesyadipta, 2019).

Secara komersial, pati umumnya diekstraksi dari sumber nabati seperti jagung, gandum, dan beras, serta dari tanaman umbi-umbian seperti kentang, singkong, dan ubi jalar (Maladi, 2019). Di antara sumber tersebut, singkong merupakan tanaman dengan kandungan pati tinggi dan produksi yang melimpah. Berdasarkan data Kementerian Pertanian Republik Indonesia, produksi singkong pada tahun 2018 mencapai 19,3 juta ton (Badan Pusat Statistik, 2018). Singkong mengandung amilosa sebesar 27,38% dan amilopektin 72,62% (Muslimah et al., 2021). Amilosa berperan dalam memberikan kekerasan pada *film* bioplastik, sedangkan amilopektin berfungsi membentuk pasta dan mempermudah proses gelatinisasi. Kandungan amilopektin yang tinggi menciptakan ruang kosong dalam struktur polimer, sehingga memungkinkan pencampuran dengan biopolimer lain untuk membentuk komposit.

Dalam penelitian ini, biopolimer yang digunakan sebagai pencampur adalah karagenan. Karagenan merupakan polisakarida dengan kemampuan membentuk gel kuat, sehingga cocok digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan bioplastik. Zaky et al, (2021) melaporkan bahwa penambahan karagenan dapat meningkatkan ketebalan dan kuat tarik *film* bioplastik, namun menurunkan nilai perpanjangan saat putus.

Meskipun demikian, pati singkong–karagenan memiliki kelemahan, yaitu daya tahan terhadap air yang rendah dan permeabilitas uap air yang tinggi. Kedua bahan ini bersifat hidrofilik, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas bioplastik. Untuk meningkatkan karakteristik fisik dan fungsional *film* bioplastik berbahan dasar Pati singkong–karagenan, diperlukan penambahan *plasticizer* atau biopolimer *hidrofobik*. *Plasticizer* berfungsi meningkatkan elastisitas dan fleksibilitas bioplastik, serta membantu proses pembentukan *film*. (Situmorang et al., 2019) menyatakan bahwa keberhasilan proses pembuatan bioplastik sangat bergantung pada variasi jenis dan konsentrasi *plasticizer* yang diaplikasikan. Dalam penelitian ini, *plasticizer* yang digunakan adalah minyak jarak dan asam stearat.

Selain *plasticizer*, penambahan bahan pengisi (*filler*) juga diperlukan guna meningkatkan sifat mekanik bioplastik. Salah satu jenis bahan pengisi yang umum digunakan adalah selulosa. Selulosa merupakan biopolimer utama penyusun dinding sel tumbuhan, dan dapat diperoleh dari limbah pertanian, seperti onggok singkong (limbah padat dari pengolahan tepung tapioka). (Intandiana et al., 2019) melaporkan bahwa Penambahan selulosa mikrokristalin pada bioplastik berbahan dasar pati singkong dapat meningkatkan nilai kekuatan tariknya. Selulosa yang berinteraksi dengan pati mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan ketebalan tekstur bioplastik (Maladi, 2019).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sifat fisik dan mekanik bioplastik sangat dipengaruhi oleh jenis *plasticizer*, konsentrasi pati, serta konsentrasi *filler* seperti selulosa. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh jenis *plasticizer* (minyak jarak dan asam stearat) serta

konsentrasi selulosa dari onggok singkong terhadap karakteristik bioplastik berbasis pati singkong-karagenan. Jenis *plasticizer* diharapkan dapat mempengaruhi sifat fisik, sedangkan konsentrasi selulosa akan mempengaruhi sifat mekanik bioplastik. Kombinasi perlakuan tersebut diharapkan menghasilkan kemasan bioplastik yang memiliki karakteristik fisik dan mekanik terbaik.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Biokimia Proses dan Nutrisi, Gedung GA, serta di Laboratorium Bioindustri dan Lingkungan dan Laboratorium Teknik Pasca Panen, yang berlokasi di Gedung Agrokompleks Lantai III, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana. Pelaksanaan penelitian berlangsung dari bulan Agustus 2022 hingga Februari 2023.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *beaker glass* 100 ml (Iwaki tg 32 Pyrex), *beaker glass* 250 ml (Iwaki tg 32 Pyrex), *cutter*, desikator, gelas ukur 100 ml (Iwaki cte 33), gunting, *handphone* (Realme GT Master Edition), *hot plate* (Jp. Selecta), *magnetic stirrer*, *micrometer sekrup* (ketelitian $\pm 0,01\text{mm}$), *oven* (Ecocell MMM Medcenter Einrichtungen GmbH), pipet tetes (pipet tetes plastik 5 ml), penggaris, talenan, *teflon* berdiameter 20 cm (Ikea Kavalkad 20 cm), *thermometer*, timbangan analitik (Pioneertm), serta alat uji tarik TA XT Plus.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi asam asetat (CH_3COOH) 1% (v/v), akuades, minyak jarak (100% *pure versatile castor oil*; UD Saba Kimia, Denpasar), asam stearat, *kappa* karagenan, pati singkong (Gavin Grosir Sukabumi) serta selulosa dari onggok singkong.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dua faktor. Faktor pertama adalah jenis *plasticizer* (P) yang terdiri atas dua jenis, yaitu minyak jarak (P1) dan asam stearat (P2). Faktor kedua adalah konsentrasi selulosa dari onggok singkong (F) yang terdiri atas tiga taraf, yaitu 0,5%, 1%, dan 1,5%. Dengan demikian, diperoleh enam kombinasi perlakuan. Masing-masing kombinasi perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga total terdapat 18 satuan percobaan.

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dibagi ke dalam dua tahap utama, yaitu: (1) proses isolasi selulosa dari onggok singkong; (2) proses pembuatan *film* kemasan bioplastik; (3) pengujian bioplastik.

Proses Isolasi Selulosa dari Onggok Singkong

Proses pembuatan selulosa dari onggok singkong terdiri atas beberapa tahapan. Pertama, dilakukan proses pencucian atau hidrolisis yang bertujuan untuk menghilangkan sisa pati serta larutan garam yang masih menempel pada bahan (Triasswari et al., 2022). Kedua, dilakukan proses delignifikasi untuk menghilangkan kandungan lignin dari onggok singkong (Triasswari et al., 2022). Ketiga, dilakukan proses pemucatan (*bleaching*) guna menghilangkan pigmen warna dan mencerahkan hasil ekstraksi. Keempat, dilakukan proses alkalisasi yang bertujuan untuk meningkatkan kemurnian selulosa serta memperbaiki tingkat kelarutannya (Leite et al., 2017).

Proses Pembuatan Bioplastik

Pembuatan *film* dimulai dengan persiapan bahan, yaitu pati singkong sebanyak 1,5% (w/v), *kappa* karagenan 4,5% (w/v), selulosa dari onggok singkong sesuai perlakuan 0,5%, 1%, dan 1,5% (w/v), serta jenis *plasticizer* (minyak jarak atau asam stearat) masing-masing sebanyak 1% (v/v untuk minyak jarak; w/v untuk asam stearat). Bahan-bahan utama (pati singkong, karagenan, dan selulosa) dilarutkan dalam larutan asam asetat 1% (v/v) dan dipanaskan sambil diaduk hingga membentuk larutan homogen. Setelah itu, larutan *film* ditambahkan dengan salah satu jenis *plasticizer* (minyak jarak atau asam stearat) sesuai dengan perlakuan. Larutan yang telah tercampur sempurna kemudian dicetak pada loyang *teflon* berdiameter 20 cm, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 20 jam. Setelah proses pengeringan, *film* didinginkan pada suhu ruang selama 24 jam. *Film* bioplastik yang telah terbentuk kemudian diuji karakteristiknya meliputi uji kuat tarik,

perpanjangan saat putus, elastisitas, ketahanan air (*swelling*), ketebalan, dan laju transmisi uap air (*Water Vapor Transmission Rate*).

Parameter Penelitian

Parameter yang diamati adalah Kuat Tarik (*Tensile Strength*) (SNI 7188.7:2016), Perpanjangan saat Putus (*Elongation*) (SNI 7188.7:2016), Elastisitas (*Modulus Young*) (SNI 7188.7:2016), Ketahanan air (Uji *Swelling*) (Standar Internasional (SI) (EN 317)), Ketebalan (Japan International Standard (JIS) 2-1707), dan WVTR (Japan International Standard (JIS) 2-1707).

Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara statistik menggunakan metode analisis ragam (ANOVA/*Analysis of Variance*). Apabila hasil analisis menunjukkan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji lanjutan menggunakan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel dan SPSS versi 25.0.

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik *film* kemasan bioplastik dilakukan menggunakan alat uji *TA XT Plus*. Pengujian dilakukan dengan cara memotong sampel dengan ukuran dimensi panjang x lebar yaitu, 7x1 cm. Kemudian dilakukan pengukuran ketebalan sampel. Semua komponen *hardware* (*TA XT Plus* dan Komputer) dinyalakan kemudian buka *software texture analyzer* dan *setting test mode* menjadi *tension*, dan *test speed* 5 mm/sec, *target mode distance* 25 mm. Selanjutnya sampel dijepitkan pada alat *TA XT Plus* dan *run* pada *software texture analyzer*. Sehingga diperoleh besaran beban maksimum yang dapat ditahan (F). Secara praktis, kekuatan tarik dapat diartikan sebagai besar gaya maksimum (F) yang diperlukan untuk memutuskan spesimen suatu bahan, yang kemudian dibagi dengan luas penampang awal dari sampel tersebut (A_0). Selama sampel berada dibawah tegangan, sampel akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) (Maladi, 2019). Perhitungan kuat tarik secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F_{maks}}{A_0} \quad [1]$$

Keterangan :

- σ :Kuat tarik (N/mm²)
- F :Beban maksimum yang dapat ditahan (N)
- A_0 :Luas Penampang awal (mm²)

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation*)

Perpanjangan saat putus dilakukan dengan cara yang sama dengan pengujian kuat tarik karena saling berhubungan. Panjang mula-mula (l_0) dapat dicari dengan mengukur panjang sampel sebelum di uji kuat tariknya. Setelah sampel diuji kuat tariknya, maka didapat panjang sampel setelah putus (l_1). Nilai perpanjangan saat putus dapat dicari menggunakan perhitungan perbandingan antara penambahan panjang dengan panjang awal atau panjang semula Saputra et al., (2019). Perhitungan secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad [2]$$

Keterangan :

- ε :*Elongation* (%)
- Δl :Pertambahan panjang (panjang akhir-panjang awal (cm))
- l_0 :Panjang mula-mula (cm)
- l_1 :Panjang akhir (cm)

Elastisitas (*Modulus Young*)

Nilai elastisitas dapat ditentukan melalui perbandingan antara kekuatan tarik dan panjang perpanjangan pada saat putus. Perhitungan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [3]$$

Keterangan :

E : Elastisitas (MPa)
 σ : Kuat tarik (MPa)
 ε : *Elongation* (%)

Ketahanan Air (*Swelling*)

Perhitungan uji ketahanan air mengacu pada metode yang digunakan oleh Jabbar (2017) dalam penelitian yang dikutip oleh Muthia et al (2022), dengan tahapan sebagai berikut: sampel ditimbang terlebih dahulu untuk memperoleh berat awal (W_0). Selanjutnya, sampel dicelupkan ke dalam akuades selama 5 menit, lalu ditimbang kembali untuk memperoleh berat akhir (W). Rumus untuk menghitung ketahanan air dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan air (\%)} = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\% \quad [4]$$

Keterangan :

W_0 : Berat awal sampel
 W : Berat sampel setelah diberi perlakuan (perendaman)

Ketebalan

Pengujian ketebalan kemasan dalam penelitian ini mengacu pada metode yang digunakan oleh Jabbar, (2017), yaitu dengan mengukur ketebalan film menggunakan mikrometer sekrup pada lima titik berbeda. Nilai ketebalan diperoleh dari rata-rata hasil pengukuran di kelima titik tersebut, yang secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Ketebalan (mm)} = \frac{\text{titik}(A+B+C+D+E)}{5} \quad [5]$$

Keterangan :

Titik (A+B+C+D+E) : lima lokasi titik uji yang berbeda pada sampel (mm)

WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*)

Pengukuran *Water Vapor Transmission Rate* (laju transmisi uap air) bertujuan untuk mengetahui seberapa besar laju perpindahan uap air yang menembus ke dalam lapisan *film* kemasan bioplastik. Pengujian dilakukan dengan cara memotong sampel berukuran 30mm x 30 mm, kemudian direkatkan di atas tabung reaksi yang berisi 5 gram *silica* gel (0% RH) (Umiyati et al., 2022). Selanjutnya ditempatkan di dalam desikator atau wadah tertutup yang berisi akuades pada suhu ruang dan dibiarkan selama 24 jam. Penambahan dari berat *silica* gel ditimbang dan dibuat persamaan *regresi linear* serta ditentukan slopenya (Muna et al., 2023). Laju transmisi uap air dihitung berdasarkan selisih berat *film* sebelum dan sesudah pengujian, dengan mempertimbangkan durasi waktu dan luas area permukaan *film* yang diuji. Perhitungan dapat ditulis menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$WVTR = \frac{N}{t.A} \quad [6]$$

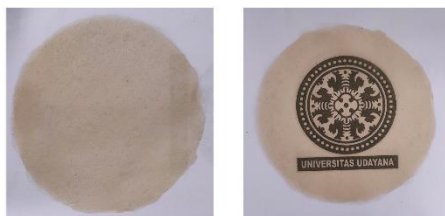
Keterangan :

WVTR = *Water Vapor Transmission Rate* (gram/ m²/hari)
 N = Perubahan berat *silica* gel (gram)
 t = waktu (jam)
 A = Luas permukaan (mm²)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kemasan Bioplastik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioplastik yang diperoleh memiliki sifat semi transparan, dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. *Film* Kemasan Bioplastik

Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Karakteristik bioplastik terbaik ditentukan oleh nilai kekuatan tariknya. Semakin tinggi nilai kekuatan tarik, maka semakin baik kemampuan bioplastik dalam memberikan perlindungan. Nilai kekuatan tarik berbanding lurus dengan besar beban maksimum yang dapat ditahan (N); semakin besar beban yang mampu ditahan, maka semakin tinggi nilai kekuatan tariknya. Data pada Tabel 1, menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik terendah diperoleh pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* asam stearat dan konsentrasi selulosa 1,5% (P2F3), yaitu sebesar 8,6 MPa. Sementara itu, nilai kekuatan tarik tertinggi ditemukan pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* minyak jarak dan konsentrasi selulosa 0,5% (P1F1).

Tabel 1. Nilai Kuat Tarik (MPa) Kemasan Bioplastik.

Jenis <i>Plasticizer</i>	Konsentrasi Selulosa		
	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	15,1 ^e	11,5 ^c	8,8 ^{ab}
Asam Stearat (P2)	11,8 ^{cd}	12,5 ^{cd}	8,6 ^a

Keterangan: Huruf yang berbeda pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$).

Pada perlakuan *plasticizer* minyak jarak, peningkatan konsentrasi selulosa menyebabkan penurunan kuat tarik bioplastik. Nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada konsentrasi selulosa sebesar 0,5%, kemudian menurun seiring penambahan selulosa karena sifat kaku selulosa menyebabkan bioplastik menjadi rapuh dan mudah patah saat dikenai gaya tarik. Hal ini juga dijelaskan dalam penelitian Hidayati et al (2019) bahwa kenaikan konsentrasi selulosa menyebabkan peningkatan kadar air pada *film* bioplastik, mengingat selulosa kering bersifat higroskopis, keras, dan rapuh, sehingga cenderung melemahkan interaksi antarmolekul yang berdekatan.

Pada perlakuan asam stearat, konsentrasi selulosa sebesar 1% menghasilkan kuat tarik tertinggi namun ini tidak berbeda nyata dengan konsentrasi selulosa 0,5%, yaitu 12,5 MPa. Namun ini tidak berbeda nyata dengan konsentrasi selulosa 0,5%. Pengurangan atau penambahan konsentrasi selulosa menurunkan kuat tarik karena bioplastik menjadi terlalu elastis atau terlalu rapuh. Distribusi selulosa yang tidak merata juga turut mempengaruhi penurunan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Nurwidiyani et al (2022) juga mendukung temuan ini, dengan menyebutkan bahwa penurunan nilai kuat tarik akibat penambahan konsentrasi selulosa disebabkan oleh dispersi selulosa dalam bioplastik yang tidak merata, sehingga struktur bioplastik menjadi kurang elastis dan mudah putus. Pernyataan serupa juga dijelaskan oleh Maulida et al (2016) yang menyatakan bahwa dispersi selulosa mempengaruhi sifat mekanik.

Perpanjangan Saat Putus (*Elongation*)

Nilai perpanjangan saat putus bioplastik menunjukkan sejauh mana bioplastik dapat meregang sebelum patah saat diberikan gaya tarik. Nilai yang tinggi menunjukkan sifat material yang fleksibel, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan sifat material mudah patah tanpa banyak meregang. Berdasarkan data pada Tabel 2, nilai perpanjangan saat putus terendah diperoleh pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* minyak jarak dan konsentrasi selulosa 0,5% (P1F1), yaitu sebesar 3,8%.

Sebaliknya, nilai perpanjangan saat putus tertinggi tercatat pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* asam stearat dan konsentrasi selulosa 0,5% (P2F1), yakni sebesar 12,4%.

Tabel 2. Nilai Perpanjangan Saat Putus (%) Bioplastik.

Jenis <i>Plasticizer</i>	Konsentrasi Selulosa		
	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	3,8 ^a	7,1 ^b	10,9 ^{cd}
Asam Stearat (P2)	12,4 ^d	8,6 ^{bc}	11,4 ^d

Keterangan: Huruf yang berbeda pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$).

Nilai perpanjangan saat putus memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan kekuatan tarik; semakin tinggi nilai kekuatan tarik, maka semakin rendah nilai perpanjangan saat putus. Pada perlakuan dengan *plasticizer* minyak jarak, penambahan konsentrasi selulosa menyebabkan peningkatan nilai perpanjangan saat putus. Penambahan selulosa berperan dalam meningkatkan interaksi antara serat selulosa dan matriks bioplastik, yang memberikan kontribusi terhadap fleksibilitas material. Peningkatan ini terjadi karena *plasticizer* mengurangi ikatan antarmolekul, baik antara amilosa dan amilopektin dengan pati maupun dengan selulosa asetat, sehingga mempengaruhi ikatan hidrogen antara molekul pati dan *plasticizer* (Nurulhasni, 2023). Hal serupa ditemukan oleh Yulianti et al., (2024) bahwa peningkatan konsentrasi selulosa dan *castor oil* meningkatkan nilai *elongation at break* serta kekuatan tarik hingga titik jenuh sebelum perpanjangan saat putus turun karena struktur mulai jenuh dengan ikatan hidrogen.

Dalam perlakuan bioplastik yang menggunakan minyak jarak, minyak jarak berfungsi sebagai *plasticizer* yang membantu meningkatkan elastisitas bioplastik. Minyak jarak mampu mengurangi kekakuan material dan memiliki sifat kental pada suhu tinggi, sehingga mendukung proses gelatinisasi bioplastik (Atmanegara, 2010). Sementara itu, pada perlakuan dengan *plasticizer* asam stearat, nilai perpanjangan saat putus tertinggi terjadi pada konsentrasi selulosa terendah (0,5%), dan mengalami penurunan pada konsentrasi 1%. Penambahan selulosa dalam jumlah kecil dapat memperkuat matriks polimer tanpa menyebabkan kekakuan berlebihan, sehingga nilai perpanjangan saat putus meningkat. Namun, penambahan selulosa secara berlebihan dapat meningkatkan kekakuan dan menurunkan fleksibilitas bioplastik, sehingga pada konsentrasi 1,5%, nilai perpanjangan saat putus kembali meningkat mendekati nilai awal. Hal ini disebabkan oleh efek redistribusi atau interaksi antarkomponen yang lebih merata. Pernyataan serupa dijelaskan oleh Ritonga et al (2024) bahwa penambahan konsentrasi selulosa dapat meningkatkan kekakuan pada komposit.

Semakin banyak ikatan hidrogen yang terbentuk, maka semakin panjang pula rantai molekul yang dihasilkan (Lang et al., 2022). Oleh karena itu, penambahan selulosa menyebabkan penurunan nilai perpanjangan saat putus. Akan tetapi, penurunan nilai perpanjangan saat putus tersebut mengindikasikan adanya titik jenuh dalam pembentukan ikatan hidrogen, yang menyebabkan selulosa sulit terdispersi secara merata dalam matriks.

Elastisitas (*Modulus Young*)

Nilai elastisitas menunjukkan kekakuan material, yaitu seberapa besar material kembali ke bentuk semula setelah diberikan gaya. Nilai yang tinggi menunjukkan bahwa material bersifat kaku dan sulit berubah bentuk, sedangkan nilai rendah menunjukkan material lebih fleksibel. Berdasarkan data pada Tabel 3, menunjukkan bahwa nilai elastisitas terendah diperoleh pada perlakuan jenis *plasticizer* asam stearat dan konsentrasi selulosa 1,5% (P2F3) yaitu sebesar 76,1 MPa. Sementara itu, nilai elastisitas tertinggi diperoleh pada perlakuan jenis *plasticizer* minyak jarak dan konsentrasi selulosa 0,5% (P1F1) yaitu sebesar 412,1 MPa.

Tabel 3. Nilai Elastisitas (MPa) Bioplastik.

Jenis <i>Plasticizer</i>	Konsentrasi Selulosa
--------------------------	----------------------

	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	412,1 ^e	166,8 ^{abcd}	82,2 ^{ab}
Asam Stearat (P2)	95,3 ^{abc}	147,3 ^{abcd}	76,1 ^a

Keterangan: Huruf yang berbeda pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$).

Dalam penelitian ini, nilai elastisitas menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik dengan nilai perpanjangan saat putus, serta berbanding lurus dengan kekuatan tarik. Pernyataan serupa juga disebutkan oleh Rahmatullah et al (2022) bahwa elastisitas (*modulus young*) memiliki keterkaitan langsung dengan kekuatan tarik dan berkorelasi negatif dengan nilai perpanjangan saat putus; apabila struktur material menjadi terlalu fleksibel atau terlalu kaku, maka nilai elastisitas cenderung menurun. Pada perlakuan dengan *plasticizer* minyak jarak, penambahan konsentrasi selulosa menyebabkan penurunan nilai elastisitas *film* bioplastik. Ketika konsentrasi selulosa terlalu tinggi, ikatan hidrogen yang terbentuk menghasilkan rantai bioplastik yang terlalu panjang dan kompleks, sehingga menyebabkan struktur bioplastik menjadi kurang homogen dan lebih rapuh (Darni et al., 2014). Namun, pada konsentrasi tertentu, penambahan selulosa dapat meningkatkan nilai elastisitas karena selulosa berperan sebagai filler yang memperkuat jaringan bioplastik. Sementara itu, pada perlakuan dengan *plasticizer* asam stearat, konsentrasi selulosa 1% menghasilkan nilai elastisitas tertinggi, yaitu sebesar 147,3 MPa. Baik pengurangan maupun penambahan konsentrasi selulosa dari titik tersebut cenderung menurunkan nilai elastisitas. Penelitian oleh Fadilla et al (2023) juga menyatakan bahwa penambahan selulosa cenderung menurunkan elastisitas. Sebaliknya, hasil penelitian Putra et al (2019) menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi selulosa dapat meningkatkan nilai *Modulus Young*. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa sebagai filler berfungsi memperkuat bioplastik dengan meningkatkan kekakuan material. Namun, jika konsentrasinya terlalu rendah atau terlalu tinggi, nilai elastisitas justru menurun akibat pembentukan ikatan hidrogen yang terlalu kompleks.

Ketahanan Air (Swelling)

Nilai ketahanan air bioplastik dapat memberikan informasi tentang seberapa baik bioplastik dapat mempertahankan stabilitasnya saat terpapar air atau kelembaban. Semakin rendah persentase yang dihasilkan, maka kualitas *film* bioplastik cenderung lebih baik. Sebaliknya, semakin tinggi persentasenya, *film* bioplastik menjadi lebih rentan terhadap kerusakan akibat paparan air. Berdasarkan data pada Tabel 4, menunjukkan bahwa nilai ketahanan air terendah diperoleh pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* asam stearat dan konsentrasi selulosa 0,5% (P2F1) yaitu sebesar 0,37%. Sementara itu, nilai ketahanan air tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* minyak jarak dan konsentrasi selulosa 1,5% (P1F3) yaitu sebesar 0,55%.

Tabel 4. Nilai Ketahanan Air (%) Bioplastik.

Jenis <i>Plasticizer</i>	Konsentrasi Selulosa		
	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	0,43 ^{abcd}	0,41 ^{abc}	0,55 ^e
Asam Stearat (P2)	0,37 ^{ab}	0,49 ^{cde}	0,35 ^a

Keterangan: Huruf yang sama pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$).

Dalam penelitian ini, pada perlakuan dengan *plasticizer* minyak jarak, nilai ketahanan air cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi selulosa. Hal ini disebabkan oleh sifat *hidrofobik* moderat dari minyak jarak yang masih memungkinkan molekul air meresap ke dalam bioplastik. Penelitian yang dilakukan oleh Putri et al (2024) mendukung bahwa selulosa meningkatkan kemampuan menahan air. Sebaliknya, pada perlakuan dengan *plasticizer* asam stearat, nilai ketahanan air justru menurun seiring peningkatan konsentrasi selulosa. Penurunan ini terjadi karena sifat *hidrofobik* yang kuat dari asam stearat menurunkan daya serap air bioplastik. Dengan demikian, konsentrasi selulosa berperan penting dalam mengontrol nilai ketahanan air, yang sangat dipengaruhi oleh jenis *plasticizer* yang digunakan. Hasil ini sejalan dengan beberapa penelitian ilmiah, salah satunya oleh Putri et al (2021) yang menunjukkan bahwa penambahan selulosa dapat meningkatkan ketahanan air bioplastik, terutama jika dikombinasikan dengan jenis *plasticizer* tertentu.

Ketebalan

Nilai ketebalan menjadi fokus yang penting untuk dipertimbangkan sebelum pengaplikasian lebih lanjut, karena dapat mempengaruhi beberapa sifat mekanik, fisik, dan fungsional bioplastik. Ketebalan bioplastik harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasinya. Jika bioplastik tipis, maka direkomendasikan untuk kemasan fleksibel seperti pembungkus makanan dan jika bioplastik tebal, maka direkomendasikan untuk produk kaku seperti alat sekali pakai. Berdasarkan data pada Tabel 5, nilai ketebalan tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* asam stearat dan konsentrasi selulosa 1,5% (P2F3), yaitu sebesar 0,43 mm. Sementara itu, nilai ketebalan terendah tercatat pada perlakuan dengan jenis *plasticizer* minyak jarak dan konsentrasi selulosa 0,5% (P1F1), yakni sebesar 0,22 mm.

Tabel 5. Nilai Ketebalan (mm) Bioplastik

Jenis <i>Plasticizer</i>	Konsentrasi Selulosa		
	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	0,22 ^a	0,26 ^b	0,30 ^d
Asam Stearat (P2)	0,27 ^{bc}	0,31 ^{de}	0,43 ^f

Keterangan: Huruf yang berbeda pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$)

Pada perlakuan penambahan *plasticizer* minyak jarak dan asam stearat, peningkatan konsentrasi selulosa menunjukkan korelasi positif terhadap nilai ketebalan bioplastik. Namun, peningkatan ketebalan tersebut lebih signifikan pada perlakuan dengan *plasticizer* asam stearat dibandingkan dengan minyak jarak. Peningkatan ini disebabkan oleh sifat alami selulosa yang memiliki struktur serat yang kaku serta mengandung banyak gugus hidroksil. Gugus tersebut mampu berikatan dengan molekul air dan membentuk interaksi yang kuat dengan matriks polimer, sehingga meningkatkan volume bioplastik dan menghasilkan ketebalan yang lebih tinggi (R. R. A. Putri et al., 2021). Pernyataan serupa dijelaskan oleh Gallegos-Carrillo et al (2024) bahwa penambahan selulosa meningkatkan viskositas larutan dan menghasilkan film yang lebih tebal dan homogen. Struktur serat selulosa kaku dan interaksi hidrogen menyumbang pada peningkatan dimensi film. Selain itu, sifat *hidrofobik* asam stearat berkontribusi terhadap peningkatan ketebalan yang lebih tinggi, karena selulosa mampu mempertahankan lebih banyak molekul air yang terjebak di dalam struktur bioplastik.

WVTR (*Water Vapor Transmission Rate*)

Water Vapor Transmission Rate (WVTR) menunjukkan bahwa kemampuan material tersebut dalam menghalangi uap air menembus melalui permukaannya. Semakin rendah nilai WVTR, semakin baik kemampuan bioplastik menghalangi uap air. Penggunaan kemasan pada makanan kering atau produk yang sensitif terhadap kelembaban, diperlukan bioplastik dengan WVTR rendah. Sedangkan untuk produk *biodegradable* jangka pendek seperti sayuran, WVTR tinggi bisa ditoleransi karena diinginkan agar dekomposisi yang lebih cepat. Berdasarkan data pada Tabel 6, menunjukkan bahwa

nilai WVTR terendah diperoleh pada perlakuan dengan jenis plasticizer asam stearat dan konsentrasi selulosa 0,5% (P2F1) yaitu sebesar 2,130 g/m²/hari. Sementara itu, nilai WVTR tertinggi diperoleh pada perlakuan dengan jenis plasticizer minyak jarak dan konsentrasi selulosa 1% (P1F2) yaitu sebesar 3,179 g/m²/hari.

Tabel 6. Nilai WVTR (g/m²/hari) Bioplastik.

Jenis Plasticizer	Konsentrasi Selulosa		
	0,5% (F1)	1% (F2)	1,5% (F3)
Minyak Jarak (P1)	3,133 ^a	3,179 ^a	2,299 ^a
Asam Stearat (P2)	2,130 ^a	2,346 ^a	2,253 ^a

Keterangan: Huruf yang sama pada akhir nilai rata-rata menunjukkan perbedaan yang *non-signifikan* ($P > 0,05$).

Pada penelitian ini, analisis terhadap pengaruh konsentrasi selulosa dan jenis *plasticizer* (minyak jarak dan asam stearat) menunjukkan bahwa nilai Water Vapor Transmission Rate (WVTR) cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi selulosa. Penelitian yang dilakukan oleh Zhao et al (2021) mendukung bahwa filler selulosa memperkuat matriks, selulosa menutup jalur difusi uap air sehingga menurunkan nilai WVTR. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa pada penggunaan minyak jarak sebagai *plasticizer*, WVTR meningkat pada konsentrasi selulosa 1% dibandingkan dengan konsentrasi awal 0,5%, namun kemudian menurun secara signifikan pada konsentrasi 1,5%. Penurunan ini disebabkan oleh penambahan selulosa yang memperkuat ikatan dalam matriks polimer, sehingga mengurangi jalur difusi uap air melalui bioplastik. Perlakuan dengan *plasticizer* asam stearat menunjukkan pola serupa, yaitu peningkatan WVTR pada konsentrasi selulosa 1%, kemudian penurunan pada konsentrasi 1,5%. Asam stearat yang bersifat *hidrofobik* berpotensi membentuk lapisan pelindung pada permukaan bioplastik, sehingga menghambat permeasi uap air. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Darni et al (2014), yang menyatakan bahwa penggunaan selulosa sebagai bahan penguat dapat meningkatkan densitas dan integritas jaringan polimer, sehingga menurunkan laju transmisi uap air. Selain itu, asam stearat sebagai *plasticizer* juga meningkatkan sifat *hidrofobik* bioplastik, yang turut mendukung penurunan nilai WVTR (Haloho et al., 2021).

KESIMPULAN

Kesimpulan

Jenis *plasticizer* dan konsentrasi selulosa berpengaruh terhadap karakteristik kemasan bioplastik berbasis Pati singkong–karagenan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jenis *plasticizer* (minyak jarak dan asam stearat) serta konsentrasi selulosa (0,5%, 1%, dan 1,5%) mempengaruhi sifat mekanik dan fisik bioplastik. Karakteristik seperti kuat tarik, perpanjangan saat putus, elastisitas, ketahanan air, ketebalan, dan water vapor transmission rate (WVTR) menunjukkan perbedaan yang signifikan antarperlakuan. Nilai kuat tarik dan elastisitas tertinggi diperoleh pada perlakuan minyak jarak dengan selulosa 0,5% (P1F1), sedangkan asam stearat dengan selulosa 0,5% (P2F1) memberikan hasil terbaik untuk perpanjangan saat putus dan nilai WVTR.

Perlakuan terbaik dalam menghasilkan kemasan bioplastik adalah kombinasi minyak jarak dengan konsentrasi selulosa 0,5% (P1F1). Formulasi ini menghasilkan karakteristik mekanik yang unggul, yaitu kuat tarik sebesar 15,1 MPa dan elastisitas sebesar 412,1 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan P1F1 merupakan formulasi terbaik untuk menghasilkan bioplastik ramah lingkungan dengan performa fisik terbaik.

Saran

Untuk meningkatkan performa dan efisiensi, penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi konsentrasi selulosa di bawah 0,5% atau dalam rentang yang lebih sempit guna menemukan titik optimum secara lebih presisi, serta mencoba jenis *plasticizer* nabati lainnya sebagai pembanding.

Untuk keperluan aplikatif, perlu dilakukan uji lanjutan seperti ketahanan terhadap minyak, uji migrasi zat, dan daya simpan terhadap bahan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmanegara, A. (2010). *Pembuatan minyak lumas dasar dari tanaman jarak (Ricinus communis L.) (castor oil) menggunakan 1,4-butanadiol dan 1,6-heksanadiol serta uji kompatibilitasnya terhadap minyak mineral.*
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Produksi ubi 2014–2018.* Badan Pusat Statistik.
- Darni, Y., Sitorus, T. M., & Hanif, M. (2014). Produksi bioplastik dari sorgum dan selulosa secara termoplastik. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(2), 55–62. <https://doi.org/10.23955/rkl.v10i2.2420>
- Dewi Nurulhasni. (2023). Homemade bioplastics (biodegradable plastic from cassava peel waste) with analysis of the effect of glycerol and cellulose ratio on tensile strength, elongation, and thickness. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 12(1), 56–64. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i1.51464>
- Fadilla, A., Amalia, V., Wahyuni, I. R., et al. (2023). Pengaruh selulosa ampas tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai zat pengisi plastik biodegradable berbasis pati kulit singkong (*Manihot esculenta*). *Gunung Djati Conference Series*, 34, 69–80.
- Gallegos-Carrillo, A., López-Tinoco, J., Damian-Reyna, A. A., Núñez-Pérez, F. A., Núñez-Piña, F., & Rodríguez, J. M. Z. (2024). Obtaining bioplastic films from castor oil plant. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(3). <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i3.3335>
- Haloho, R. J., Hasojuwono, B. A., & Suwariani, N. P. (2021). Pengaruh konsentrasi asam stearat dan lama pengadukan proses gelatinisasi terhadap karakteristik komposit bioplastik maizena–glukomanan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 9(4), 488. <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i04.p06>
- Intandiana, S., Dawam, A. H., Denny, Y. R., Septiyanto, R. F., & Affifah, I. (2019). Pengaruh karakteristik bioplastik pati singkong dan selulosa mikrokristalin terhadap sifat mekanik dan hidrofobitas. *EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan)*, 4(2), 185. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.5953>
- Jabbar, U. F. (2017). *Pengaruh penambahan kitosan terhadap karakteristik bioplastik dari pati kulit kentang (Solanum tuberosum L.)* [Skripsi].
- Lang, H., Chen, X., Tian, J., Chen, J., Zhou, M., Lu, F., & Qian, S. (2022). Effect of microcrystalline cellulose on the properties of PBAT/thermoplastic starch biodegradable film with chain extender. *Polymers*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/polym14214517>
- Leite, A. L. M. P., Zanon, C. D., & Menegalli, F. C. (2017). Isolation and characterization of cellulose nanofibers from cassava root bagasse and peelings. *Carbohydrate Polymers*, 157, 962–970. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.048>
- Maulida, Siagian, M., & Tarigan, P. (2016). Production of starch based bioplastic from cassava peel reinforced with microcrystalline cellulose Avicel PH101 using sorbitol as plasticizer. *Journal of Physics: Conference Series*, 710(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/710/1/012012>
- Muna, A., Wicaksono, R., & Wibowo, C. (2023). Characterization of layer-by-layer biodegradable films based on hydroxypropyl methylcellulose–nanochitosan. *Journal of Applied Food Technology*, 10(2), 37–47. <https://doi.org/10.17728/jaft.20868>

- Putri, F. A., Rianjanu, A., & Sipahutar, W. S. (2024). Cellulose impact on bioplastic performance: A study on mechanical strength, physical properties, and degradation of water hyacinth and kepok banana peel-derived materials. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 12(2), 87–96. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v12i02.407>
- Rahmatullah, Putri, R. W., Rendana, M., Waluyo, U., & Andrianto, T. (2022). Effect of plasticizer and concentration on characteristics of bioplastic based on cellulose acetate from kapok (*Ceiba pentandra*) fiber. *Science and Technology Indonesia*, 7(1), 73–83. <https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.73-83>
- Ritonga, H., Mashuni, M., & Hardima, W. (2024). Optimasi sifat mekanik komposit bioplastik dari selulosa ampas sagu dan kitosan cangkang kepiting. *Jurnal Penelitian Kimia*, 20(2), 190–197. <https://doi.org/10.20961/alchemy.20.2.85193.190-197>
- Triasswari, N. P. M., Arnata, I. W., & Yoga, I. W. G. S. (2022). Karakteristik karboksimetil selulosa dari onggok singkong pada variasi konsentrasi natrium hidroksida dan asam trikloroasetat. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 302. <https://doi.org/10.24843/jrma.2022.v10.i03.p07>
- Wulandari, R. (2021). *Analisis implementasi kebijakan politik pemerintah Indonesia dalam mengantisipasi sampah plastik*.
- Yulianti, N. L., Harsojuwono, B. A., Gunadnya, I. B. P., & Arnata, I. W. (2024). Optimization of cellulose nanofibers and castor oil in the synthesis of starch-carrageenan-polyvinyl alcohol bi-thermoplastic film. *Pakistan Journal of Analytical and Environmental Chemistry*, 25(1), 31–48. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2024.06.04>
- Zaky, M. A., Pramesti, R., & Ridlo, A. (2021). Pengolahan bioplastik dari campuran gliserol, CMC, dan karagenan. *Journal of Marine Research*.