

SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOPLASTIK DARI PATI UMBI GARUT- KARAGENAN DENGAN PENAMBAHAN *PLASTICIZER* ASAM SITRAT DAN *CROSSLINKER* CaCO₃ DARI CANGKANG TELUR

PIPI OKTAVIANI¹, SACHLA RIZKIA UTAMI¹, NOVA PRATIWI INDRIYANI¹,
DAN SONI SETIADJI^{1*}

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

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

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Kata Kunci: bioplastik; karagenan; pemlastis; CaCO ₃ ; biodegradasi.	Penumpukan sampah plastik di Indonesia yang mencapai 72 juta ton per tahun telah menjadi isu lingkungan yang sangat serius. Upaya pengurangan ketergantungan terhadap plastik konvensional mendorong pengembangan bioplastik berbasis bahan alami yang ramah lingkungan dan dapat terdegradasi secara hayati. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi bioplastik berbasis pati umbi garut (<i>Maranta arundinacea</i> L.) dan karagenan. Komposit dibuat dengan rasio pati:karagenan sebesar 1:2, asam sitrat dalam konsentrasi 10%, 15%, dan 20%, serta CaCO ₃ sebanyak 0,1; 0,2; dan 0,3 gram. Film bioplastik dikeringkan selama 13 jam pada suhu 55 °C. Pengujian meliputi spesifikasi fisik, biodegradasi tanah selama 14 hari, <i>swelling</i> , kekuatan mekanik menggunakan UTM, serta morfologi menggunakan SEM. Hasil terbaik diperoleh pada variasi 20% asam sitrat dan 0,2 gram CaCO ₃ , dengan ketebalan 0,235 mm, kuat tarik 3,64 kN/m ² , elongasi 3,44%, modulus Young 1,0591 kN/m ² , <i>swelling</i> 18,47%, dan tingkat biodegradasi sebesar 91,48%. Penambahan EM-4 terbukti mempercepat proses degradasi. Nilai biodegradasi tersebut memenuhi standar SNI 7188–2022 yang menetapkan tingkat degradasi maksimum 90% dalam 180 hari. Hasil pengamatan morfologi dengan SEM menunjukkan permukaan tidak homogen dengan adanya retakan-retakan kecil yang mengindikasikan struktur yang rapuh. Jika dibandingkan dengan bioplastik komersial seperti Telobag yang memiliki kekuatan tarik mencapai 15,14 MPa, formulasi ini masih memiliki kelemahan dari sisi kekuatan mekanik, sehingga dibutuhkan pengembangan dan modifikasi formula lanjutan guna meningkatkan performanya agar lebih optimal.
<i>Keywords: bioplastic; carrageenan; plasticizer; CaCO₃; biodegradat ion.</i>	<i>The accumulation of plastic waste in Indonesia, reaching approximately 72 million tons annually, has become an increasingly critical environmental concern. Efforts to reduce reliance on conventional plastics have driven the development of bioplastics derived from natural, renewable, and biodegradable materials. This study aims to synthesize and characterize bioplastics formulated from arrowroot starch (<i>Maranta arundinacea</i> L.) and carrageenan. The bioplastic composites were prepared at a starch-to-carrageenan ratio of 1:2, with citric acid as a plasticizer at concentrations of 10%, 15%, and 20%, and calcium carbonate (CaCO₃) from eggshell waste as a crosslinker at 0.1, 0.2, and 0.3 grams. Films were dried for 13 hours at 55 °C. Characterization included physical properties, soil biodegradation over 14 days, swelling, mechanical strength using a UTM, and morphological analysis via SEM. The optimal formulation, comprising 20% citric acid and 0.2 grams CaCO₃, yielded a thickness of 0.235 mm, tensile strength of 3.64 kN/m², elongation of 3.44 kN/m², Young's modulus of 1.0591 kN/m², swelling of 18.47%, and a biodegradation rate of 91.48%. The addition of EM-4 effectively accelerated the degradation process. This biodegradability meets the requirements of SNI 7188–2022, which stipulates a minimum of 90% degradation within 180 days. SEM observations revealed a non-homogeneous surface with visible microcracks, indicating structural fragility. Compared to commercial bioplastics such as Telobag, which exhibits a tensile strength of 15.14 MPa, the mechanical properties of the formulated bioplastics remain limited, necessitating further optimization and material modification to enhance overall performance.</i>

PENDAHULUAN

Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2020 timbunan sampah di Indonesia sudah mencapai 72 juta ton per tahun. Jenis sampah yang mendominasi timbunan sampah di Indonesia adalah sampah rumah tangga, yaitu 32,5% yang sebagian besar berupa sampah plastik. Oleh karena itu, sebagai alternatif pengganti plastik konvensional digunakan plastik dengan bahan baku yang bersumber dari alam atau yang biasa dikenal dengan bioplastik.

Bioplastik adalah bahan yang dapat digunakan seperti layaknya plastik konvensional bedanya bioplastik mudah mengalami penguraian oleh mikroorganisme. Sejauh ini banyak penelitian mengenai pembuatan bioplastik diantaranya yaitu kitosan, alginat, karagenan, pati dan polisakarida lain. Karagenan dan pati termasuk salah satu bahan hidrokoloid. Menurut Abdou dan Sorour, bioplastik dari karagenan dapat diformulasikan dengan hidrokoloid lain seperti pati untuk meningkatkan sifat mekaniknya [1].

Menurut Noor Amalina *et al.* [2] umbi garut berpotensi sebagai bahan pembuat bioplastik karena mempunyai kadar pati relatif tinggi. Secara umum, umbi garut memiliki kandungan pati yang cukup tinggi, berkisar antara 60-80% dari berat keringnya. Bioplastik berbahan dasar pati memiliki kekuatan mekanik yang rendah sehingga diperlukan bahan tambahan berupa *plasticizer* dan pengikat silang (*crosslinker*). Menurut Juwita *et al.* [3] penambahan agen pengikat silang sangat penting untuk meningkatkan kekuatan mekanik karena dapat meningkatkan berat molekul dan membatasi rantai polimer. Penambahan asam sitrat dalam pembuatan bioplastik dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik bioplastik [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik sampel bioplastik hasil variasi konsentrasi asam sitrat melalui SEM dan uji tarik, serta karakteristik bioplastik dari variasi konsentrasi asam sitrat dan *crosslinker* melalui uji *swelling*, uji spesifikasi dan uji biodegradasi.

EKSPERIMEN

Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) pada tahun 2020 timbunan sampah di Indonesia sudah mencapai 72 juta ton per tahun. Jenis sampah yang mendominasi timbunan sampah di Indonesia adalah sampah rumah tangga, yaitu 32,5% yang sebagian besar berupa sampah plastik. Oleh karena itu, sebagai

alternatif pengganti plastik konvensional digunakan plastik dengan bahan baku yang bersumber dari alam atau yang biasa dikenal dengan bioplastik.

Bioplastik adalah bahan yang dapat digunakan seperti layaknya plastik konvensional bedanya bioplastik mudah mengalami penguraian oleh mikroorganisme. Sejauh ini banyak penelitian mengenai pembuatan bioplastik diantaranya yaitu kitosan, alginat, karagenan, pati dan polisakarida lain. Karagenan dan pati termasuk salah satu bahan hidrokoloid. Menurut Abdou dan Sorour, bioplastik dari karagenan dapat diformulasikan dengan hidrokoloid lain seperti pati untuk meningkatkan sifat mekaniknya [1].

Menurut Noor Amalina *et al.* [2] umbi garut berpotensi sebagai bahan pembuat bioplastik karena mempunyai kadar pati relatif tinggi. Secara umum, umbi garut memiliki kandungan pati yang cukup tinggi, berkisar antara 60-80% dari berat keringnya. Bioplastik berbahan dasar pati memiliki kekuatan mekanik yang rendah sehingga diperlukan bahan tambahan berupa *plasticizer* dan pengikat silang (*crosslinker*). Menurut Juwita *et al.*

[3] penambahan agen pengikat silang sangat penting untuk meningkatkan kekuatan mekanik karena dapat meningkatkan berat molekul dan membatasi rantai polimer. Penambahan asam sitrat dalam pembuatan bioplastik dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik bioplastik [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik sampel bioplastik hasil variasi konsentrasi asam sitrat melalui SEM dan uji tarik, serta karakteristik bioplastik dari variasi konsentrasi asam sitrat dan *crosslinker* melalui uji *swelling*, uji spesifikasi dan uji biodegradasi.

EKSPERIMEN

Bahan

Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tepung pati garut, karagenan, cangkang telur, asam asetat, asam sitrat, akuades, dan EM-4.

Instrumentasi

Alat instrumen berupa mikrofoto *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Universal Testing Machine* (UTM).

Prosedur

Pada penelitian ini, secara umum terdapat beberapa prosedur, dimulai dengan preparasi *Plasticizer* dan *Crosslinker*, sintesis bioplastik dari pati umbi garut-karagenan dengan penambahan *plasticizer* asam sitrat dan *crosslinker* CaCO_3 dari cangkang telur, dan karakterisasi bioplastik dari umbi garut-karagenan

Preparasi Crosslinker

Crosslinker yang digunakan dibuat dari limbah cangkang telur ayam. Cangkang telur ayam direndam dengan air hangat, dicuci dengan air bersih mengalir, dan dikeringkan dalam oven. Lalu cangkang telur ayam dihaluskan menggunakan mortar alu dan diayak menggunakan ayakan 100 *mesh* hingga diperoleh serbuk halus. Komposisi terbesar cangkang telur ayam adalah CaCO_3 .

Preparasi Plasticizer

Plasticizer yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam sitrat. 10 gram asam sitrat ditimbang dan dimasukkan kedalam gelas kimia kemudian ditambahkan akuades hingga larut, lalu dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL dan ditanda batas. Larutan kemudian dihomogenkan, dengan prosedur yang sama dilakukan pembuatan larutan dengan variasi konsentrasi asam sitrat 15% dan 20%.

Sintesis Bioplastik dari Pati Umbi Garut-Karagenan

Pembuatan bioplastik dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi CaCO_3 . Tahap awal melarutkan 0,2 g CaCO_3 menggunakan 10 ml asam asetat 8% pada suhu 85-90 °C dan dibantu pengadukan 300 rpm. Lalu melarutkan 2,67 g pati dan 1,33 g karagenan menggunakan 10 ml akuades dalam wadah terpisah. Kemudian kedua larutan dicampurkan pada larutan CaCO_3 , dan ditambahkan asam sitrat sambil diaduk selama 60menit hingga larutan homogen. Selama proses pemanasan, gelas beker ditutup dengan alumunium foil dan pemanasan dilakukan menggunakan penangas air. Campuran yang telah dipanaskan langsung dicetak pada cawan petri, kemudian didinginkan terlebih dahulu pada suhu ruang. Selanjutnya dikeringkan selama 13 jam menggunakan oven pada suhu 55 °C. Setelah itu,

dibiarkan pada udara terbuka hingga bioplastik dapat lepas dari cetakan.

Karakterisasi Bioplastik dari Pati Umbi Garut-Karagenan

Uji Spesifikasi

Uji spesifikasi dilakukan untuk mengamati bioplastik secara fisik berdasarkan parameter tertentu. Pengujian ini meliputi pengukuran berat, panjang, diameter, dan ketebalan dari film.

Uji Biodegradasi

Menyiapkan 2 sampel bioplastik yang berukuran 5 cm x 5 cm kemudian timbang menggunakan timbangan analitik, sampel tersebut kemudian ditimbun di dalam tanah yang sudah ditambahkan EM-4 dan yang tidak ditambahkan EM-4 sebagai pembanding selama 21 hari. Kemudian per 2 hari ditimbang kembali berat bioplastik menggunakan timbangan analitik dan lihat perubahan berat jika berat plastik menurun maka plastik terdegradasi [5].

Uji Swelling

Bioplastik dipotong menjadi bentuk persegi panjang dengan dimensi 10 mm × 10 mm dan berat bioplastik yang diketahui (W_0) direndam dalam akuades selama 10 menit [6]. Setelah itu, bioplastik dikeluarkan dari akuades kemudian diseka dan didiamkan 10 menit untuk menghilangkan kelebihan air pada permukaannya dan dilakukan penimbangan lagi.

Uji Mekanik

Membran yang akan diuji dipotong dengan ukuran 4x1 cm, lalu dikaitkan pada alat *Autograph*. Ujung-ujung membran dikaitkan dengan alat uji dan penarik dipasang beban dengan satuan Membran yang akan diuji dipotong dengan ukuran kurang lebih 4x1 cm, kemudian dikaitkan pada alat *Autograph*. Masing- masing ujung membran dikaitkan dengan alat uji dan penarik dipasang beban dengan satuan kgF (*kilogram-Force*). Kemudian, membran ditarik dengan kecepatan 1 cm/menit sampai membran putus, lalu besar beban penarik dan perubahan panjang pada membran saat putus dicatat [6].

Scanning Electron Microscope (SEM)

Analisis SEM dimulai dengan sampel dipotong menjadi ukuran kecil (5×5 mm). Kemudian pilih resolusi dan pembesaran sesuai kebutuhan (misalnya, 500x hingga 10.000x). Gunakan mode elektron sekunder untuk morfologi atau elektron balik untuk analisis topografi [7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Bioplastik dari Pati Umbi Garut-Karagenan

Dimulai dengan membuat larutan asam sitrat dengan konsentrasi 10%, 15%, dan 20%, asam sitrat ini berperan sebagai *plasticizer* yang berfungsi untuk meningkatkan elastisitas bioplastik. Kemudian, mengisolasi CaCO₃ dari cangkang telur menggunakan asam asetat 8% sebanyak 10 mL dalam keadaan dipanaskan dan diaduk. CaCO₃ dari cangkang telur ini berfungsi sebagai pengikat silang pada komposit yang dapat meningkatkan kekuatan ikatan antara pati garut dan karagenan [8] sedangkan fungsi dari penambahan asam asetat ini adalah untuk melarutkan cangkang telur.

Selanjutnya ditambahkan 1,33 gram pati umbi garut dan 0,67 gram karagenan yang berfungsi sebagai pembentuk gel karena mengalami proses gelatinisasi serta sebagai penguat struktur bioplastik. Ditambahkan juga 20 mL akuades sambil dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer*. Larutan dipanaskan pada rentang suhu 80-90 °C, pemanasan diatas suhu optimal atau terlalu tinggi menyebabkan kerusakan pada komposit karena terjadi degradasi polimer yang menyebabkan turunnya viskositas sehingga diperoleh hasil cetakan yang tipis. Proses pencetakan bioplastik dilakukan pada cawan petri dan dilakukan pada suhu 55°C selama 13 jam. Setelah itu, film dibiarkan 1 hari pada suhu ruang dan dilepaskan pada cawan petri.



Gambar 1. a) *Crosslinker* 0,1 gram b) *Crosslinker* 0,2 gram dan c) *Crosslinker* 0,3 gram

Berdasarkan **Gambar 1** warna yang dihasilkan dari bioplastik berbahan dasar pati umbi

garut-karagenan dengan variasi *crosslinker* cangkang telur cenderung bewarna kecoklatan. Bioplastik dengan variasi jumlah *crosslinker* dihasilkan bewarna coklat serta memiliki fisik yang kaku dan permukaanyang kasar.



Gambar 2. 1) Asam Sitrat 10% 2) Asam Sitrat 15% dan 3) Asam Sitrat 20%.

Berdasarkan **Gambar 2** warna yang dihasilkan dari bioplastik berbahan pati umbi garut-karagenan dengan penambahan cangkang telur dan variasi *plasticizer* asam sitrat cenderung bewarna putih pucat. Hal ini disebabkan karena asam sitrat bereaksi dengan komponen polimer (pati) melalui reaksi pembentukan ikatan silang atau esterifikasi yang dapat mengubah struktur polimer, sehingga menghasilkan bioplastik yang memiliki tampilan putih pucat.

Karakterisasi Bioplastik dari Pati Umbi Garut-Karagenan

Uji Spesifikasi

Pada saat sintesis, sampel dengan penambahan *crosslinker* paling banyak memiliki larutan yang lebih kental jika dibandingkan dengan variasi jumlah *crosslinker* yang lain sehingga sulit dicetak. Hal ini bisa disebabkan oleh semakin banyak jumlah CaCO₃, jumlah partikel padat yang berikatan di dalam larutan juga semakin meningkat, partikel- partikel ini memperbesar interaksi fisik diantara partikel dengan matriks polimer, sehingga meningkatkan kekentalan larutan [8].

Tabel 1. Data ketebalan bioplastik pati umbi garut-karagenan dengan variasi *crosslinker*.

Variasi Penambahan CaCO ₃	Ketebalan (mm)
0,1	0,165
0,2	0,235
0,3	0,282

Selain warna, ketebalan juga menjadi parameter penting karena dapat mempengaruhi sifat mekanik film yang lain seperti kuat tarik dan elongasi.

Bioplastik dengan variasi *crosslinker* lebih tebal jika dibandingkan dengan bioplastik dengan *plasticizer* gliserol ataupun yang lainnya. **Tabel 1** menunjukkan ketebalan komposit pati garut-karagenan dengan variasi konsentrasi asam sitrat. Karena jumlah *crosslinker* paling banyak menghasilkan larutan yang lebih kental sehingga menghasilkan fisik bioplastik yang lebih tebal. Maka dengan ini jumlah optimal *crosslinker* yang digunakan adalah 0,2 gram dengan hasil fisik yang tidak terlalu kaku, tidak terlalu tebal, dan dihasilkan larutan yang tidak terlalu kental.

Kemudian pengujian ketebalan ini juga dilakukan untuk variasi asam sitrat, berikut data hasil uji ketebalan variasi asam sitrat ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel IV. 2 Data ketebalan bioplastik pati umbi garut-karagenan dengan variasi asam sitrat.

Variasi Penambahan Asam Sitrat	Ketebalan (mm)
10%	0,249
15%	0,156
20%	0,235

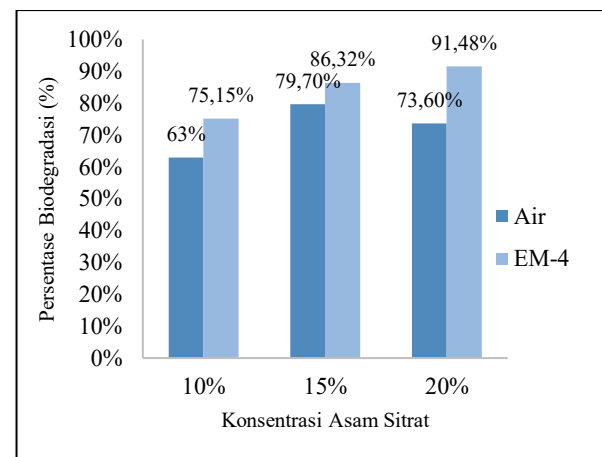
Hal ini dapat membuktikan bahwa konsentrasi *plasticizer* yang digunakan dapat mempengaruhi ketebalan bioplastik, sebagai *plasticizer* asam sitrat membantu meningkatkan fleksibilitas material, namun variasi konsentrasinya juga berdampak pada ketebalan bioplastik, menurut teori semakin besar konsentrasi *plasticizer* semakin tipis karena larutan yang dihasilkan saat sintesis lebih cair sehingga mudah merata saat dicetak, namun pada penelitian ini sampel dengan konsentrasi asam sitrat 15% justru lebih tipis hal ini bisa disebabkan saat proses pencetakan yang kurang merata atau kondisi cetakan yang tidak rata.

Uji Biodegradasi

Pada pengujian biodegradasi dilakukan dua perlakuan pada masing-masing sampel. Sampel Pertama dilakukan penambahan EM-4, dan sampel kedua dilakukan tanpa penambahan EM-4.

Konsentrasi asam sitrat dalam bioplastik juga berpengaruh signifikan terhadap laju biodegradasi bioplastik. Sebagai *plasticizer*, asam sitrat dapat mengubah struktur material, yang akhirnya memengaruhi interaksi bioplastik dengan mikroorganisme dalam proses degradasi [10] [11-24].

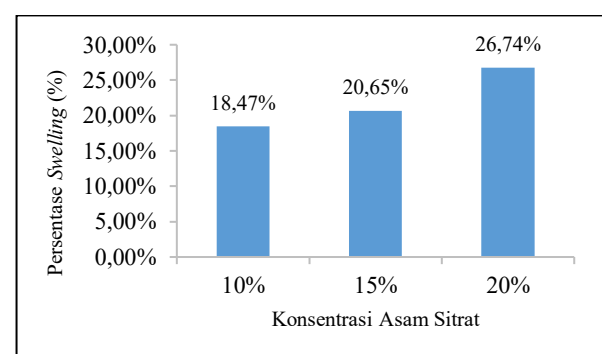
Berdasarkan data pada **Gambar 3** menunjukkan persen biodegradasi paling tinggi ditunjukkan oleh konsentrasi ke-3 yaitu sampel dengan variasi konsentrasi asam sitrat 20% dengan penambahan EM-4 yaitu mencapai 91,48 % sedangkan untuk bioplastik komersil (telobag) terdegradasi dalam 180 hari. Efek konsentrasi *plasticizer* yang tinggi dapat membuat struktur material lebih mudah ditembus air dan enzim dari mikroorganisme sehingga laju biodegradasi akan semakin cepat, karena struktur yang lebih lunak dan lebih terbuka memungkinkan mikroorganisme untuk memecah material lebih mudah. Namun, bioplastik mungkin menjadi terlalu mudah terdegradasi, yang bisa mengurangi ketahanannya dalam aplikasi tertentu Hasil biodegradasi bioplastik dari pati umbi garut- karagenan telah sesuai dengan standar mutu bioplastik pada SNI 7188—2022 bahwa biodegradabilitas maksimal sebesar 90% selama 180 hari.



Gambar 3. Hasil uji biodegradasi.

Uji Swelling

Hasil uji *swelling* air komposit pati garut-karagenan dengan variasi konsentrasi asam sitrat dapat dilihat pada **Gambar 4**.



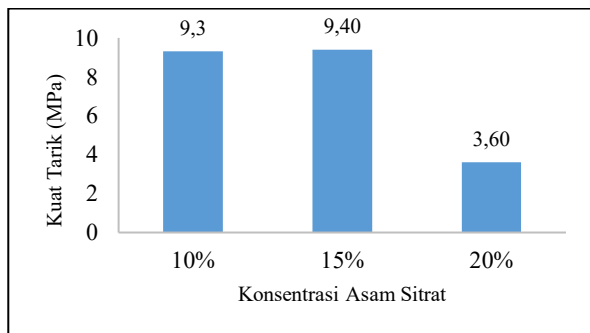
Gambar 4. Hasil uji *Swelling*.

Konsentrasi asam sitrat dalam bioplastik juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya serap air. Karena asam sitrat bersifat hidrofilik (menarik air), variasi dalam jumlah asam sitrat akan memengaruhi seberapa banyak air yang dapat diserap oleh bioplastik.

Berdasarkan Gambar IV.2 semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang digunakan, persentase derajat *swelling* semakin mengecil. Sehingga bioplastik yang memiliki derajat *swelling* terkecil adalah bioplastik dengan konsentrasi asam sitrat 10% dengan nilai derajat *swelling* sebesar 18,47%. Hal tersebut terjadi karena semakin besar konsentrasi asam sitrat semakin mudah pula komposit untuk menarik air. Sedangkan untuk nilai derajat *swelling* bioplastik komersil (telobag) sebesar 54,54%.

Uji Kuat Tarik

Kuat tarik adalah tegangan maksimum yang bisa ditahan material sebelum putus atau patah. Plastik dengan kuat tarik tinggi umumnya lebih baik karena bisa menahan beban lebih besar tanpa rusak. Kuat tarik yang tinggi menunjukkan plastik tahan terhadap gaya tarik yang kuat, menjadikannya cocok untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan struktural.



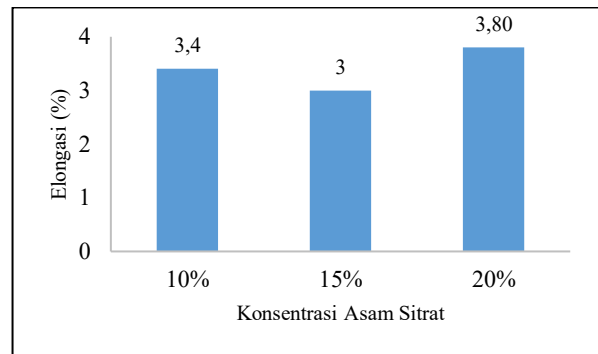
Gambar 5. Hasil uji kuat tarik.

Dari data pada **Gambar 5** dapat dilihat kuat tarik yang paling optimal yaitu sampel dengan konsentrasi asam sitrat 15%. Konsentrasi dari asam sitrat dapat membantu meningkatkan kekuatan tarik karena materialnya lebih mampu menahan gaya tanpa patah, dan membuat bioplastik lebih ideal. *Plasticizer* dengan konsentrasi yang rendah, bioplastik akan cenderung kaku sedangkan *plasticizer* dengan konsentrasi tinggi menyebabkan ikatan antara molekul-molekul penyusun bioplastik melemah.

Hal ini dapat membuat bioplastik mudah melar atau rusak saat ditarik. Jika dibandingkan dengan telobag yang memiliki nilai kuat Tarik 15,14 Mpa, masih jauh perbedaannya dengan sampel.

Elongasi

Persen pemanjangan (elongasi) merupakan perubahan panjang maksimum bioplastik sebelum terputus. Pengujian elongasi dilakukan dengan membandingkan penambahan panjang yang terjadi dengan panjang bahan sebelum dilakukan uji tarik.



Gambar 6. Hasil uji elongasi.

Berdasarkan **Gambar 6** menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi asam sitrat, nilai elongasi semakin besar. Hasil tersebut disebabkan oleh kondisi fisik bioplastik yang elastis sehingga nilai elongasinya semakin besar.

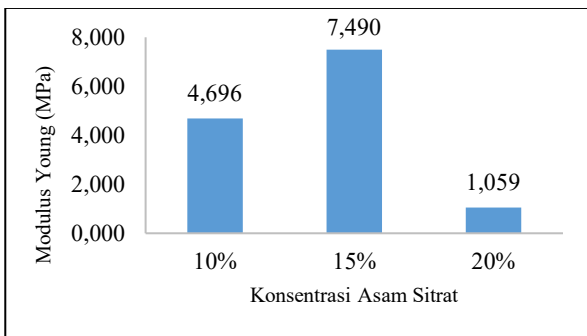
Bioplastik dengan nilai elongasi terkecil hasil penelitian ini adalah pada konsentrasi asam sitrat 15% yang dapat dikategorikan sebagai sifat mekanik terbaik, karena menurut pendapat Derwati dan Pranoto dimana semakin kuat bioplastik yang terbentuk, maka semakin sulit bagi bioplastik untuk memanjang sehingga memperkecil nilai perpanjangan. Plastik yang baik sering kali memiliki elongasi yang tinggi, karena ini menunjukkan bahwa material tersebut cukup elastis atau fleksibel dan tidak mudah retak. Elongasi tinggi membuat plastik lebih tahan terhadap deformasi dan mampu menyesuaikan bentuk tanpa patah, cocok untuk aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas, seperti kemasan.

Modulus Young

Modulus young menyatakan ukuran kekakuan dari suatu material, sehingga semakin besar modulus young suatu material, maka semakin tidak elastis benda tersebut sehingga benda sulit mengalami perubahan.

Modulus young diperoleh dari perbandingan antara kuat tarik terhadap persen perpanjangan dapat dilihat nilai yang dihasilkan bahwa semakin besar konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan elastisitasnya semakin meningkat. Nilai modulus young yang kecil menandakan bahwa bioplastik tersebut bersifat elastis.

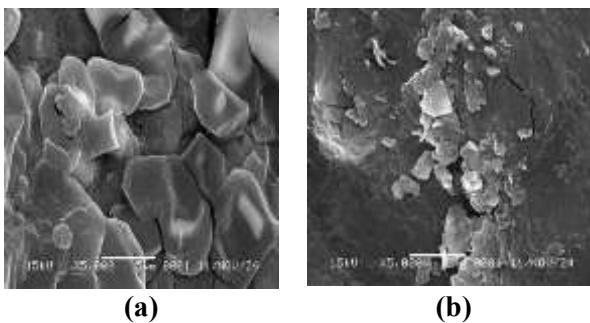
Berdasarkan **Gambar 7** bioplastik dengan nilai modulus young paling rendah adalah bioplastik dengan konsentrasi asam sitrat 20%. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam sitrat yang ditambahkan maka bioplastik yang dihasilkan akan semakin elastis.



Gambar 7. Hasil uji modulus young.

Scanning Electron Microscope (SEM)

Pada bioplastik analisis SEM digunakan untuk mempelajari morfologi permukaan bioplastik. Ini penting untuk memahami struktur, kualitas, dan sifat permukaan bioplastik, yang dapat memengaruhi performa mekanis, biodegradabilitas, dan interaksi dengan lingkungan.



Gambar IV. 8 Hasil uji SEM.

Berdasarkan gambar diatas, hasil analisis SEM pada sampel bioplastik dengan variasi konsentrasi asam sitrat 20% menunjukkan terdapat beberapa garis batas yang terlihat di antara partikel, yang kemungkinan besar adalah batas antar butiran atau rekahan kecil. Hal ini bisa disebabkan saat proses pemanasan dimana material yang

mengandung kalsium karbonat cenderung rapuh sehingga terjadi pemecahan pada kristanilitas bioplastik. Selain proses pemanasan hal ini juga bisa disebabkan oleh pemrosesan mekanis (seperti penggilingan). Keretakan ini dapat menunjukkan sifat rapuh dari bahan tersebut.

Kemudian dari gambar tersebut dapat dilihat juga adanya perbedaan ukuran material hal ini menunjukkan bahwa material bioplastik tersebut tidak homogen [41]. Jika dibandingkan dengan hasil analisis SEM telobag yang ditunjukkan oleh gambar b terlihat hasilnya lebih homogen namun tetap sama terdapat keretakan di beberapa bagian.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil uji tarik yang paling optimal yaitu sampel dengan konsentrasi asam sitrat 15%. Untuk nilai elongasi terbesar yaitu pada bioplastik dengan konsentrasi asam sitrat 20% dan juga menjadi sampel dengan nilai modulus young terkecil. Hal ini menunjukkan pengaruh konsentrasi asam sitrat terhadap uji mekanik bioplastik. Hasil uji spesifikasi bioplastik dengan konsentrasi asam sitrat 20% lebih elastis dibandingkan dengan variasi konsentrasi 10% dan 15% hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi asam sitrat berpengaruh terhadap sifat fisik dari bioplastik. Begitupun dengan uji biodegradasi, sampel dengan konsentrasi asam sitrat 20% memiliki kemampuan degradasi yang baik dengan nilai degradasi mencapai 91,48%. Sedangkan dari hasil uji *swelling* sampel yang memiliki daya serap yang kecil adalah sampel dengan konsentrasi asam sitrat 10%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. Soni Setiadji, M.T., M.Si. sebagai dosen pembimbing 1 dan Ibu Nova Pratiwi Indriyani, M.Si. sebagai dosen pembimbing 2 atas bimbingan dan dukungan selama proses penelitian.

REFERENSI

- [1] E. S. Abdou and M. A. Sorour, "Preparation and characterization of starch/carrageenan edible films," *Int. Food Res. J.*, vol. 21, no. 1, pp. 189– 193, 2014.

- [2] A. Shabrina, "Sifat Fisik Edible Film Yang Terbuat Dari Tepung Pati Umbi Garut Dan Minyak Sawit," *J. Apl. Teknol. Pangan*, vol. 6, no. 3, pp. 138–142, 2017, doi: 10.17728/jatp.239.
- [3] W. P. Juwita, S. K. Wirawan, and A. Mindaryani, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia 'Kejuangan' Pengaruh Proses Pengeringan dan Konsentrasi Gliserol terhadap Karakteristik Mekanik Pektin Edible Film," *Jur. Tek. Kim.*, no. April, pp. 1–1, 2019.
- [4] D. Ayu Larasati, I. Yuliasih, and T. Candra Sunarti, "Desain Proses Pembuatan Coating Film Berbasis Pati Sagu (Metroxylon Sp.) Ikat Silangasam Sitrat," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 27, no. 3, pp. 318–327, 2017, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.3.318.
- [5] F. D. Utami and A. Asngad, "Bioplastik dari Umbi Ganyong dan Kulit Kacang Tanah dengan Penambahan Gliserol," *Semin. Nas. Pendidik. Biol. dan Saintek II*, pp. 343–346, 2017.
- [6] S. Sunardi, Ph.D., Y. Susanti, and K. Mustikasari, "Sintesis Dan Karakterisasi Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara Dengan Kaolin Sebagai Penguat," *J. Ris. Ind. Has. Hutan*, vol. 11, no. 2, p. 65, 2020, doi: 10.24111/jrihh.v11i2.5084.
- [7] A. Ridlo, S. Sedjati, E. Supriyantini, and D. A. Zanjabila, "Pengembangan Dan Karakterisasi Bioplastik Karagenan-Alginat-Gliserol Dengan Perlakuan Kalsium Klorida," vol. 12, no. 1, pp. 43–53, 2023, doi: 10.14710/buloma.v12i1.48020.
- [8] M. Amanda, M. Wardati, and L. Nurdini, "Pengaruh Suhu dan Waktu Pengeringan pada Bioplastik dari Pati Jagung terhadap Waktu Biodegradasi The Effect of Temperature and Time of Drying from Corn Starch Bioplastic on Biodegradation Time," vol. 20, no. 1, pp. 76–81, 2023.
- [9] Z. Ahmad, Y. Yusof, H. Anuar, and R. Khairul, "The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics," no. January, 2012.
- [10] S Setiadji, *et al.*, "Synthesis of Polydimethylsiloxane and its Monomer from Hydrolysis of Dichlorodimethylsilane", *Key Engineering Materials* 860, 234-238, 2020.
- [11] S Setiadji, *et al.*, "Optimization of Polydimethylsiloxane synthesized parameters as vitreous humour substitutes", *Materials Science Forum* 966, 189-193, 2019.
- [12] 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.
- [13] S Setiadji, *et al.*, "Synthesis and Characterization of Polydimethylsiloxane (PDMS) with Medium Viscosity via Ring-Opening Polymerization", *Materials Science Forum* 1028, 346-351, 2021.
- [14] DG Auliya, *et al.*, "Synthesis of low viscosity polydimethylsiloxane using low grade of octamethylcyclotetrasiloxane", *Materials Science Forum* 1028, 365-370, 3, 2021.
- [15] S Setiadji, *et al.*, "Uji stabilitas bahan polydimethylsiloxane", *J. Material dan Energi Indonesia* 9, 8-17, 2019.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] VF Arini, *et al.*, "Synthesis of low viscosity of polymethylhydrosiloxane using monomer of dichloromethylsilane", *Journal of Physics: Conference Series* 2165 (1), 012041, 2022.
- [20] W Waslaluddin, *et al.*, "Formulation, Process, and Scale-Up Engineering of Silicone Oil", *Materials Science Forum* 1028, 377-382, 2021.
- [21] D Sandi, *et al.*, "\", *Jurnal Material dan*

- Energi Indonesia 10 (02), 83-88, 2020.
- [22] DG Auliya, *et al.*, "Enhance the viscosity of polydimethylsiloxane by controlling the volume ratio of monomer and chain terminator", AIP Advances 14 (10), 2024.
- [23] DG Auliya, *et al.*, "Tailoring polymethylhydrosiloxane as candidate material for vitreous humour substitution: physical properties and in vitro toxicity", BMC chemistry 19 (1), 210, 202