

# Pemanfaatan Limbah Kerajinan Rumput Laut Menjadi Plastik *Biodegradable*

Eginta Marovid Tarigan<sup>1</sup>, Okik Hendriyanto Cahyonugroho<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

\*Koresponden email: okikhc@upnjatim.ac.id

Diterima: 29 Januari 2024

Disetujui: 1 Februari 2024

## Abstract

This research aims to utilize seaweed craft waste as a basic material for biodegradable plastic by adding chitosan and sorbitol as plasticizers. Seaweed craft waste is extracted to obtain cellulose which is then mixed with chitosan and sorbitol in certain variations. The mechanical characteristics, biodegradation and water absorption capacity of the resulting biodegradable plastic were evaluated. The research results showed that the tensile strength of biodegradable plastic ranged from 1.68 to 2.41 MPa, elongation ranged from 6.9% to 20.9%, biodegradation test ranged from 63.5% to 66.53%, and water absorption capacity ranges from 1.8% to 2.37%. Statistical correlation shows that the addition of chitosan tends to strengthen the mechanical properties and inhibit biodegradation and water absorption, while the addition of sorbitol tends to weaken the mechanical properties and increase the water absorption. The optimum conditions for biodegradable plastic vary depending on the parameters measured, and the characteristics of the plastic do not fully meet applicable standards. Nevertheless, this research provides an overview of the potential and limitations of using seaweed craft waste for the production of biodegradable plastic.

**Keywords:** *biodegradable plastic, seaweed craft waste, chitosan and sorbitol, mechanical characteristics of plastic, plastic waste management*

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah kerajinan rumput laut sebagai bahan dasar plastik biodegradable dengan menambahkan kitosan dan sorbitol sebagai *plasticizer*. Limbah kerajinan rumput laut diekstraksi untuk memperoleh selulosa yang kemudian dicampur dengan kitosan dan sorbitol dalam variasi tertentu. Karakteristik mekanik, biodegradasi, dan daya serap air dari plastik biodegradable yang dihasilkan dievaluasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tarik plastik biodegradable berkisar antara 1,68 hingga 2,41 MPa, elongasi berkisar antara 6,9% hingga 20,9%, uji biodegradasi berkisar antara 63,5% hingga 66,53%, dan daya serap air berkisar antara 1,8% hingga 2,37%. Korelasi statistik menunjukkan bahwa penambahan kitosan cenderung memperkuat sifat mekanis dan menghambat biodegradasi serta daya serap air, sedangkan penambahan sorbitol cenderung melemahkan sifat mekanis dan meningkatkan daya serap air. Kondisi optimum plastik biodegradable bervariasi tergantung pada parameter yang diukur, dan karakteristik plastik belum sepenuhnya memenuhi standar yang berlaku. Meskipun demikian, penelitian ini memberikan gambaran tentang potensi dan keterbatasan penggunaan limbah kerajinan rumput laut untuk produksi plastik biodegradable.

**Kata Kunci:** *plastik biodegradable, limbah kerajinan rumput laut, kitosan dan sorbitol, karakteristik mekanik plastik, pengelolaan sampah plastik*

## 1. Pendahuluan

Dalam era kemajuan teknologi dan industri, peningkatan penggunaan bahan-bahan plastik menjadi dampak yang signifikan, menyebabkan masalah serius terkait penumpukan sampah plastik [1]. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan tahun 2022, sampah plastik menduduki peringkat kedua sebagai komposisi sampah terbesar setelah sampah sisa makanan, dengan total 3,6 juta ton dari total 19 juta ton sampah yang dihasilkan pada tahun tersebut [1]. Fenomena ini mencerminkan tingginya kebutuhan masyarakat terhadap plastik dalam kehidupan sehari-hari, berpotensi memperburuk permasalahan lingkungan di Indonesia. Sampah plastik memiliki kemampuan mencemari lingkungan karena membutuhkan waktu dekomposisi yang sangat lama, bahkan mencapai ratusan hingga ribuan tahun.

Dalam menghadapi tantangan ini, alternatif baru perlu ditemukan untuk mengurangi dampak negatif sampah plastik terhadap lingkungan. Salah satu alternatif yang diusulkan adalah pengembangan

plastik biodegradable yang ramah lingkungan, berasal dari bahan-bahan yang dapat terurai di lingkungan, tersedia secara alami, dan mampu menghasilkan produk dengan kekuatan setara dengan plastik sintetis yang umum digunakan oleh masyarakat [2].

Dalam konteks ini, pembuatan plastik biodegradable dapat memanfaatkan limbah padat atau ampas yang dihasilkan dari industri pengolahan rumput laut menjadi produk kerajinan. Meskipun produksi rumput laut di Indonesia terus meningkat, pemanfaatan limbah dari industri rumput laut masih belum optimal, menciptakan permasalahan baru terkait pembuangan limbah yang mencapai proporsi 65-70% dari total produksi [3]. Limbah ini mengandung berbagai zat seperti agar, selulosa, protein, dan lain-lain [4], yang menjadi daya tarik bagi berbagai pihak untuk dimanfaatkan. Beberapa pemanfaatan limbah rumput laut melibatkan produksi bioethanol, biodiesel dan *Modified Density Fibreboard* (MDF) [4; 5; 6].

Beberapa penelitian mencoba mengeksplorasi potensi produk samping dari produksi kerajinan rumput laut yang mengandung selulosa. Namun, selulosa memiliki kelemahan jarak antar molekul yang lemah, yang dapat diatasi dengan penambahan kitosan, polimer dengan rantai densitas tinggi yang terikat oleh ikatan hidrogen yang kuat. Namun, penambahan kitosan membuat sifat bioplastik menjadi kaku, sehingga diperlukan adanya bahan tambahan seperti *plasticizer*, yang umumnya terdiri dari gliserol, sorbitol, dan polyethylene glycol (PEG) [3].

Rumput laut memiliki peran signifikan dalam ekosistem laut dan telah lama dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam berbagai industri, termasuk industri kerajinan. Pemanfaatan rumput laut sebagai sumber potensial untuk plastik biodegradable menyoroti keberlanjutan dan diversifikasi penggunaan sumber daya alam.

Sebagai langkah pengembangan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini fokus pada penambahan kitosan dan *plasticizer*, khususnya sorbitol, untuk meningkatkan kualitas plastik biodegradable yang dihasilkan dari limbah kerajinan rumput laut. Penelitian sebelumnya mengenai "Pengaruh Penambahan Sorbitol dalam Pembuatan Plastik biodegradable dari Rumput Laut *Gracilaria* sp dengan Kitosan" menunjukkan bahwa penambahan sorbitol dapat mempengaruhi kuat tarik plastik biodegradable, meskipun perpanjangannya belum memenuhi standar SNI plastik mudah terurai [7].

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah kerajinan rumput laut sebagai bahan dasar plastik biodegradable. Dengan penambahan kitosan dan sorbitol sebagai *plasticizer*, penelitian ini akan mengevaluasi karakteristik mekanik seperti kuat tarik, elongasi, dan kecepatan degradasi dari plastik biodegradable yang dihasilkan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi masalah sampah plastik sulit terurai dan menghasilkan plastik biodegradable yang memiliki sifat unggul.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian bioplastik ini mengikuti kerangka kerja yang terdiri dari fase-fase penelitian, mulai dari ide penelitian, studi literatur, persiapan alat dan bahan, pelaksanaan tahapan penelitian, analisis dan pembahasan, hingga penyusunan laporan dan kesimpulan. Tahapan penelitian mencakup proses ekstraksi selulosa dari limbah kerajinan rumput laut, pembuatan bioplastik dengan variasi kitosan dan sorbitol, serta pengujian karakteristik bioplastik termasuk kuat tarik, elongasi, ketahanan air, dan biodegradasi. Metode penelitian ini menggunakan peralatan seperti oven, ayakan, timbangan analitik, cetakan aluminium, beaker glass, dan pengaduk gelas, serta bahan-bahan seperti limbah kerajinan rumput laut, larutan NaOH dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, kitosan, sorbitol, dan akuades. Proses ekstraksi selulosa melibatkan beberapa tahap, termasuk penghilangan bahan pengotor, alkalisasi dalam larutan NaOH, pemucatan dengan larutan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, dan pengeringan.

Pembuatan bioplastik melibatkan melarutkan selulosa dalam pelarut aquades, penambahan kitosan dan sorbitol, pengecoran dalam cetakan, dan pengeringan. Uji karakteristik bioplastik dilakukan untuk kuat tarik, elongasi, ketahanan air, dan biodegradasi. Variabel terikat melibatkan aquadest, larutan NaOH dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, sementara variabel bebas mencakup variasi berat selulosa, kitosan, dan sorbitol. Analisis data menggunakan perhitungan matematis dan analisis deskriptif, dengan uji kuat tarik, uji ketahanan air, dan uji biodegradasi sebagai fokus utama.

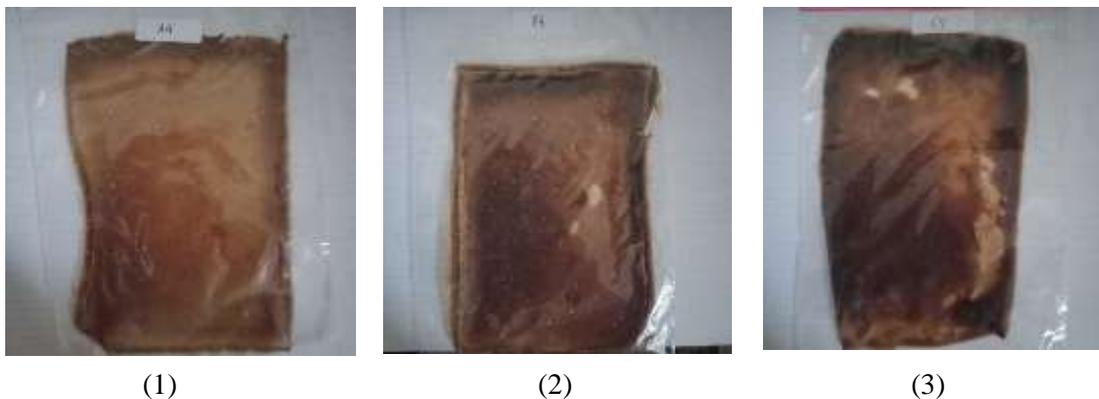


**Gambar 1.** Kerangka Penelitian

### 3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian mengenai Pemanfaatan Limbah Keraginan Rumput Laut menjadi Plastik Biodegradable ini dilakukan di Laboratorium Riset UPN "Veteran Jawa Timur". Proses ekstraksi limbah keraginan dimulai dengan melarutkannya dalam NaOH 20% pada suhu 100°C selama 3 jam, diikuti dengan penyaringan menggunakan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsentrasi 6%. Sisa padatan yang tersisa setelah penyaringan dikeringkan, dan hasil ekstraksi yang telah kering digunakan untuk pembuatan bioplastik dengan mencampurnya dengan variasi kitosan dan sorbitol. Selulosa yang diekstraksi larut dalam akuades, kemudian dicampur dengan kitosan dan sorbitol dalam variasi tertentu. Variasi selulosa melibatkan bobot sebanyak 2,5, 5, dan 7,5 gram, sedangkan variasi kitosan dan sorbitol mencakup berat masing-masing 2,5, 3,5, 2, 4, dan 6 gram.

Larutan homogen yang dihasilkan kemudian dituangkan ke cetakan dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 90°C selama 3 jam. Bioplastik yang telah kering dapat diambil dari cetakan. Evaluasi fisik bioplastik menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan selulosa, seperti pada sampel (3) dengan komposisi selulosa 7,5 gram, transparansi plastik cenderung berkurang dibandingkan dengan sampel (1) yang memiliki kandungan selulosa hanya 2,5 gram, dan sampel (2) dengan kandungan selulosa 5 gram.



**Gambar 2.** Hasil Sampel Plastik Biodegradable

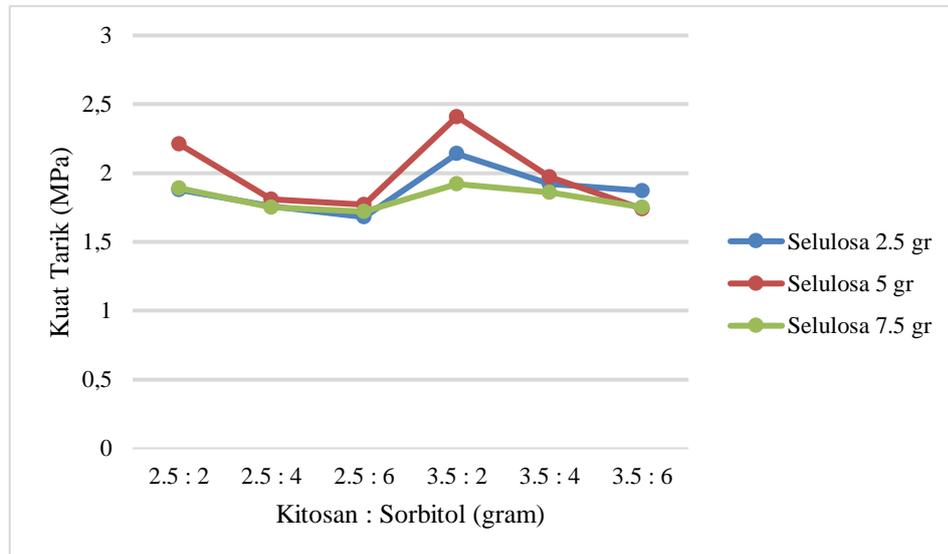
#### *Uji Karakteristik Plastik Biodegradable*

Karakteristik bioplastik yang akan diterapkan dalam plastik biodegradable ialah karakteristik kuat tarik dan elongasi, uji biodegradasi dan daya serap terhadap air. Hasil analisa karakteristik ini didapatkan untuk mengetahui apakah limbah keraginan rumput laut dapat digunakan untuk menjadi bahan dasar pembuatan plastik biodegradable.

#### *Uji Kuat Tarik*

Penelitian ini melakukan analisis kuat tarik pada plastik biodegradable dari limbah keraginan rumput laut di Laboratorium Fisika Material Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, dengan menggunakan alat autograph pengujian kuat tarik. Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik bioplastik yang melibatkan limbah keraginan rumput laut dengan variasi kitosan dan *plasticizer* sorbitol. Hasil uji menunjukkan bahwa kuat tarik plastik biodegradable bervariasi, dengan nilai tertinggi 2,41 Mpa pada variasi selulosa : kitosan : sorbitol 5 : 3,5 : 2 gram, dan nilai terendah 1,68 Mpa pada variasi 2,5 : 2,5 : 6 gram. Pengaruh variasi selulosa, sorbitol, dan kitosan terhadap kuat tarik diilustrasikan dalam **Gambar 3**, di mana variasi selulosa 2,5 gram menunjukkan nilai

kuat tarik terendah 1,68 MPa, sedangkan variasi 5 gram mencapai nilai tertinggi 2,41 MPa. Saat variasi selulosa 7,5 gram, nilai kuat tarik terendah 1,72 MPa pada variasi kitosan : sorbitol 2,5 : 6 gram, dan nilai tertinggi 1,92 MPa pada variasi 3,5 : 2 gram. Hasil penelitian konsisten dengan penemuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan kitosan dapat meningkatkan nilai kuat tarik, sementara penambahan sorbitol cenderung menurunkan nilai tersebut [8; 9; 10; 11]

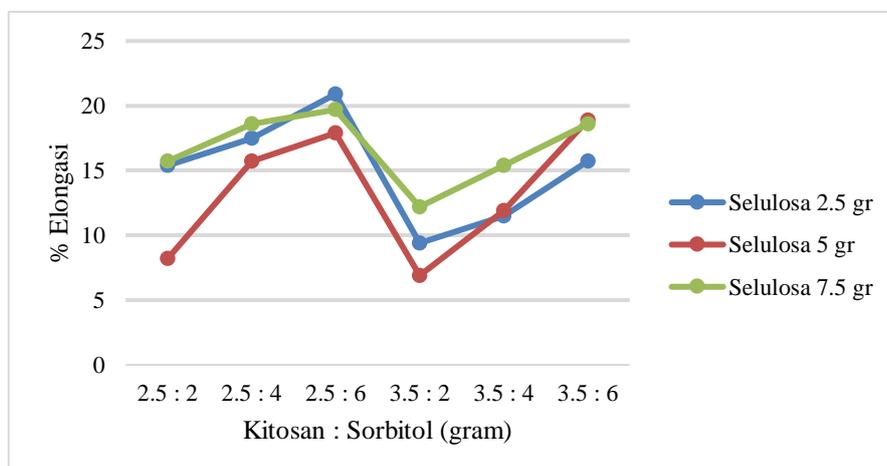


Gambar 3. Grafik hasil uji kuat tarik antara variasi selulosa terhadap variasi bahan pengisi

#### Uji Elongasi Plastik Biodegradable

Uji elongasi pada plastik biodegradable dari limbah kerajinan rumput laut dilakukan di Laboratorium Fisika Material Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, menggunakan alat autograph pengujian kuat tarik. Uji ini bertujuan untuk mengetahui panjang maksimum sampel sebelum putus, dilakukan bersamaan dengan uji kuat tarik. Hasil uji elongasi menunjukkan variasi signifikan, dengan nilai terbesar pada variasi selulosa : kitosan : sorbitol 2,5 : 2,5 : 6 gram (20,9%) dan nilai terendah pada variasi 5 : 3,5 : 2 gram (6,9%). Elongasi berkorelasi terbalik dengan kuat tarik, di mana nilai optimum elongasi berbanding terbalik dengan nilai optimum kuat tarik. Pada variasi selulosa 2,5 gram, nilai rata-rata elongasi mencapai 15,07%, sedangkan pada variasi 5 gram memiliki rata-rata nilai elongasi terkecil, 13,25%. Variasi selulosa 7,5 gram menunjukkan rata-rata elongasi paling besar, 16,7%.

Studi sebelumnya menyatakan bahwa kandungan selulosa dapat mempengaruhi nilai elongasi, dengan penambahan kitosan cenderung mengurangnya karena peningkatan ikatan hidrogen dalam bioplastik [12]. Penambahan sorbitol, sebagai *plasticizer*, berkontribusi pada peningkatan nilai elongasi karena mengurangi ikatan hidrogen internal. Kesimpulannya, kandungan kitosan dan sorbitol dalam bioplastik berpengaruh pada elongasi, di mana konsentrasi kitosan yang tinggi cenderung menurunkan elongasi, sementara penambahan sorbitol berbanding lurus dengan nilai elongasi [13; 10].

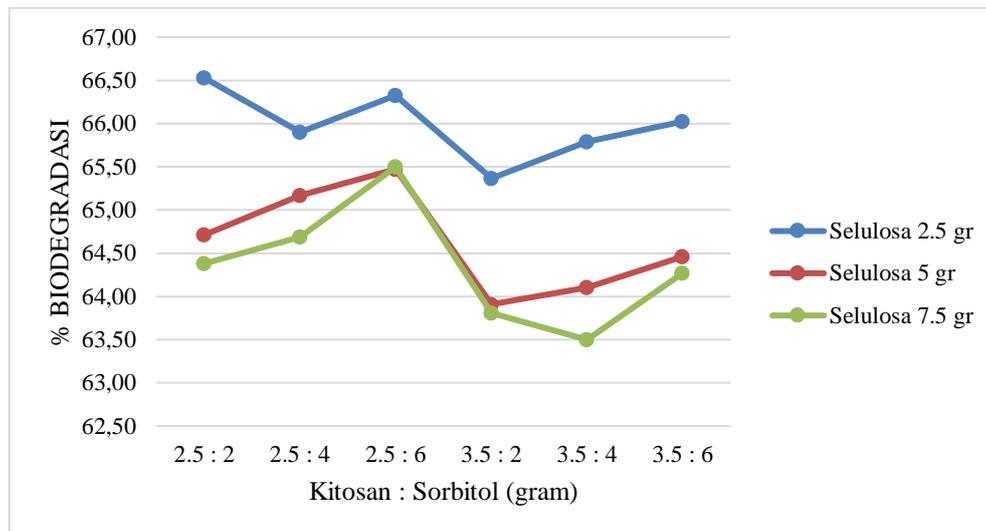


Gambar 4. Grafik hasil uji elongasi antara variasi selulosa terhadap variasi bahan pengisi

### Uji Biodegradasi Plastik Biodegradable

Penelitian ini melibatkan uji biodegradasi menggunakan metode *soil burial* pada sampel plastik biodegradable dari limbah keraginan rumput laut dengan ukuran 3 x 6 cm. Sampel terdiri dari 18 variasi yang telah dipersiapkan, dan setelah dipotong sesuai ukuran, sampel ditimbang untuk berat awalnya. Kemudian, sampel dikubur dalam tanah selama 7 hari, dan setelah periode tersebut, ditimbang kembali untuk menentukan persentase penguraian. Uji ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan terurai secara alami oleh lingkungan. Hasilnya, variasi selulosa : kitosan : sorbitol 2,5 : 2,5 : 2 gram menunjukkan persentase biodegradasi massa tertinggi (66,53%), sementara variasi 7,5 : 3,5 : 4 gram memiliki persentase terendah (63,50%).

Analisis menunjukkan bahwa penambahan kitosan cenderung mengurangi persentase degradasi, sedangkan penambahan sorbitol meningkatkannya. Studi sebelumnya mendukung temuan ini, dengan menyebutkan bahwa komposisi selulosa mempengaruhi tingkat degradasi, kitosan memiliki dampak yang tidak signifikan, dan penambahan sorbitol memudahkan proses degradasi [3; [14; 15]. Dengan demikian, hasil uji biodegradasi ini mencerminkan pengaruh variasi komposisi bahan terhadap kemampuan plastik untuk terurai dalam lingkungan [16; 17].

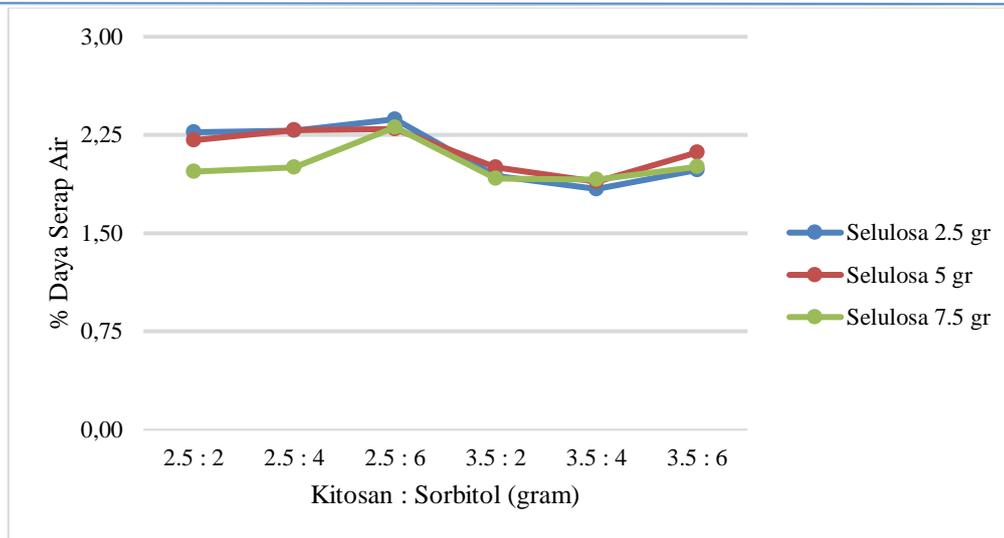


**Gambar 5.** Grafik hasil uji biodegradasi massa antara variasi selulosa terhadap variasi bahan pengisi

### Uji Ketahanan terhadap Air

Pengujian ketahanan terhadap air dilakukan pada sampel bioplastik dengan ukuran 3 x 6 cm menggunakan metode swelling. Sebelum direndam dalam akuades, sampel ditimbang untuk mengetahui berat awalnya. Setelah direndam selama 15 menit, dilakukan penimbangan kembali untuk menentukan persentase air yang diserap oleh sampel. Hasil uji menunjukkan variasi selulosa : kitosan : sorbitol 2,5 : 2,5 : 6 gram memiliki daya serap tertinggi (2,37%), sementara variasi 7,5 : 3,5 : 4 gram memiliki daya serap terendah (1,8%). Daya serap yang tinggi berkaitan dengan ketahanan yang lebih rendah. Analisis grafik menunjukkan bahwa penambahan kitosan cenderung mengurangi daya serap air, sedangkan penambahan sorbitol meningkatkannya.

Penelitian sebelumnya mendukung temuan ini dengan menyatakan bahwa daya serap air yang tinggi dapat mengakibatkan ketahanan yang lebih rendah, kitosan bersifat hidrofobik sehingga dapat meningkatkan ketahanan, dan penambahan sorbitol meningkatkan kelarutan dan daya serap [3;10]. Dengan demikian, hasil uji ini mencerminkan pengaruh variasi komposisi terhadap ketahanan terhadap air pada sampel bioplastik



**Gambar 6.** Grafik hasil uji daya serap air antara variasi selulosa terhadap variasi bahan pengisi

#### *Kondisi Optimum Plastik Biodegradable*

Pada kondisi optimum uji kuat tarik, sampel bioplastik dengan variasi selulosa : kitosan : sorbitol 5 : 3,5 : 2 gram menunjukkan kuat tarik optimum sebesar 2,41 MPa. Faktor yang mempengaruhi kondisi ini melibatkan komposisi selulosa, kitosan, dan sorbitol. Penambahan kitosan sebesar 3,5 gram meningkatkan nilai kuat tarik karena jumlah ikatan hidrogen dalam bioplastik menjadi lebih banyak, membuat ikatan kimia semakin kuat dan sulit diputus. Sebaliknya, penambahan sorbitol sebagai *plasticizer* mengurangi nilai kuat tarik karena meningkatkan kelarutan dan memperbesar jarak antarmolekul. Meskipun nilai ini masih di bawah standar SNI 7818:2014, hasilnya lebih baik dari penelitian sebelumnya.

Pada uji elongasi, kondisi optimum ditemukan pada variasi 2,5 : 2,5 : 6 gram dengan persentase elongasi 20,9%. Kandungan selulosa mempengaruhi elongasi, sementara kitosan menurunkannya dengan menambah ikatan hidrogen. Penambahan sorbitol meningkatkan persentase elongasi. Meskipun belum memenuhi standar SNI, nilai ini mencerminkan pengaruh variasi komposisi pada bioplastik.

Kondisi optimum pada uji biodegradasi terdapat pada variasi 2,5 : 2,5 : 2 gram dengan degradasi 66,53%. Komposisi kecil selulosa mempercepat pengurangan massa dan interaksi dengan mikroorganisme. Kitosan yang tidak larut dalam air memperlambat degradasi karena sifat anti bakterialnya. Sorbitol sebagai *plasticizer* memberi media untuk mikroba, mempercepat degradasi. Hasil ini memenuhi standar ASTM 5336 yang menetapkan waktu 60 hari untuk degradasi total.

Pada uji ketahanan air, kondisi optimum ditemukan pada variasi 2,5 : 3,5 : 4 gram dengan daya serap 1,84%. Komposisi selulosa yang besar membuat sampel sulit menyerap air, sifat tidak larut kitosan juga mempengaruhi, dan sorbitol meningkatkan daya serap. Meskipun belum memenuhi standar serapan air plastik konvensional, hasilnya menunjukkan pengaruh komposisi terhadap daya serap air pada bioplastik.

#### *Hasil Analisa Statistik Korelasi*

Hasil analisis statistik dilakukan menggunakan aplikasi Minitab untuk mengukur korelasi antar variabel pada penelitian ini. Pada uji kuat tarik, penambahan kitosan memiliki korelasi positif dengan nilai kuat tarik, sementara penambahan sorbitol memiliki korelasi negatif. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kitosan meningkatkan kuat tarik, sedangkan sorbitol cenderung menurunkannya. Pada uji elongasi, penambahan kitosan menurunkan nilai elongasi (korelasi negatif), sementara sorbitol meningkatkan nilai elongasi (korelasi positif). Pada uji biodegradasi massa, penambahan kitosan memperlambat proses degradasi (korelasi negatif), sementara sorbitol meningkatkan kemampuan degradasi (korelasi positif). Pada uji daya serap air, penambahan kitosan memperkecil nilai daya serap air (korelasi negatif), sedangkan sorbitol meningkatkan daya serap air (korelasi positif). Oleh karena itu, analisis statistik menyimpulkan bahwa penambahan kitosan cenderung memperkuat sifat mekanis dan menghambat biodegradasi serta daya serap air, sementara penambahan sorbitol cenderung melemahkan sifat mekanis dan meningkatkan daya serap air pada sampel bioplastik.

#### **4. Kesimpulan**

Hasil penelitian mengenai pemanfaatan limbah kerajinan rumput laut untuk pembuatan plastik biodegradable memberikan beberapa temuan penting. Pertama, analisis karakteristik plastik biodegradable yang dihasilkan menunjukkan nilai yang signifikan, termasuk kuat tarik sebesar 2,41 MPa, elongasi sebesar

20,9%, uji biodegradasi sebesar 66,53%, dan daya serap air sebesar 2,37%. Kedua, konsentrasi optimum kitosan dan sorbitol terhadap karakteristik plastik biodegradable bervariasi tergantung pada parameter yang diukur. Sebagai contoh, untuk kuat tarik, konsentrasi optimum kitosan : sorbitol adalah 3,5 : 2 gram, sedangkan untuk elongasi, konsentrasi optimum bervariasi antara variasi selulosa. Ketiga, meskipun potensi selulosa limbah kerajinan rumput laut sebagai bahan baku plastik biodegradable teridentifikasi, hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa karakteristik plastik, seperti kuat tarik, elongasi, dan ketahanan terhadap air, belum memenuhi standar yang berlaku, seperti SNI 7818:2014 dan ASTM Internasional. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan gambaran tentang potensi dan keterbatasan penggunaan limbah kerajinan rumput laut untuk produksi plastik biodegradable, menunjukkan arah untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut guna meningkatkan kualitas produk.

## 5. Referensi

- [1] I. Nafianto, "Pembuatan Plastik Biodegradable dari Limbah Bonggol Pisang Kepok dengan Plasticizer Gliserol dari Minyak Jelantah dan Komposit Kitosan dari Limbah Cangkang Bekicot (*Achatina fullica*)," *Integr. Lab J.*, vol. 7, no. 1, pp. 75–89, 2019.
- [2] Y. Darni, T. M. Sitorus, and M. Hanif, "Produksi Bioplastik dari Sorgum dan Selulosa Secara Termoplastik," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 10, no. 2, pp. 55–62, 2014, doi: 10.23955/rkl.v10i2.2420.
- [3] D. S. Maulana, A. S. Mubarak, and D. Y. Pujiastuti, "The Concentration of polyethylen glycol (PeG) 400 on bioplastic cellulose based carrageenan waste on biodegradability and mechanical properties bioplastic," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 679, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/679/1/012008.
- [4] S. Zhao and S. Zhang, "The deep processing of seaweed industrial waste - Influence of several fermentation on seaweed waste of feed," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 113, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/113/1/012176.
- [5] J. J. Milledge, B. Smith, P. W. Dyer, and P. Harvey, "Macroalgae-derived biofuel: A review of methods of energy extraction from seaweed biomass," *Energies*, vol. 7, no. 11, pp. 7194–7222, 2014, doi: 10.3390/en7117194.
- [6] M. A. Alamsjah, L. Sulmartiwi, K. T. Pursetyo, M. N. G. Amin, K. A. K. Wardani, and M. D. Arifianto, "Modifying bioproduct technology of Medium Density Fibreboard from the seaweed waste *Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria verrucosa*," *J. Indian Acad. Wood Sci.*, vol. 14, no. 1, pp. 32–45, 2017, doi: 10.1007/s13196-017-0185-y.
- [7] Yustinah, S. Noviyanti, U. H. Hasyim, and A. B. Syamsudin, "Pengaruh Penambahan Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradable dari Rumput Laut *Gracilaria* sp dengan Pemplastik Sorbitol," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, pp. 1–6, 2019.
- [8] D. W. Awwalian and N. Hidayati, "Pengaruh Komposisi Selulosa Terhadap Kualitas Plastik Biodegradable Dari Pati Onggok," *Skripsi thesis, Univ. Muhammadiyah Surakarta.*, pp. 1–11, 2023.
- [9] R. Pratiwi, D. Rahayu, and M. I. Barliana, "Pemanfaatan Selulosa Dari Limbah Jerami Padi (*Oryza sativa*) Sebagai Bahan Bioplastik," *Indones. J. Pharm. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 3, p. 83, 2016, doi: 10.15416/ijpst.v3i3.9406.
- [10] S. Hidayati, Zulferiyenni, and W. Satyajaya, "Optimasi pembuatan biodegradable film dari selulosa limbah padat rumput laut *Euclima cottonii* dengan penambahan gliserol, kitosan, CMC dan tapioka," *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 22, no. 2, pp. 340–354, 2019.
- [11] Selpiana, Patricia, and C. P. Anggraeni, "Pengaruh Penambahan Kitosan dan Gliserol pada Pembuatan Bioplastik dari Ampas Tebu dan Ampas Tahu," *J. Tek. Kim.*, vol. 22, no. 1, pp. 18–26, 2016.
- [12] K. M. N. K. Sinda, N. L. Kartini, and I. W. D. Atmaja, "Pengaruh Dosis Pupuk Kascing terhadap Hasil Tanaman Sawi (*Brassica juncea* L.) Sifat Kimia dan Biologi pada Tanah Inceptisol Klungkung," *J. Agrotechnology Trop.*, vol. 4, no. 3, pp. 2301–6515, 2015, [Online]. Available: <http://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>.
- [13] K. Hayati, C. C. Setyaningrum, and S. Fatimah, "The Effect of Chitosan Addition on Characteristics of Biodegradable Plastic from Waste of Nata de Coco using Inversion Phase," *Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, vol. 4, no. 1, pp. 9–14, 2020, doi: 10.21776/ub.rbaet.2020.004.01.02.
- [14] Y. Dwi Hartatik and L. Nuriyah, "Effect of Chitosan Composition on Mechanical Properties and Biodegradable Bioplastics," *Brawijaya Phys. Student J.*, pp. 1–4, 2014.

- [15] Lazuardi, Gilang Pandu, and Sari Edi Cahyaningrum. "Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Kitosan dan Pati Singkong dengan Plasticizer Gliserol (Preparation and Characterization Based Bioplastic Chitosan and Cassava Starch With Glycerol Plazticizer)." *UNESA Journal of Chemistry* (2013).
- [16] D. Arini, M. S. Ulum, and K. Kasman, "Pembuatan dan Pengujian Sifat Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Biji Durian," *Nat. Sci. J. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 276–283, 2017, doi: 10.22487/25411969.2017.v6.i3.9202.
- [17] D. D. Bahari and O. H. Cahyonugroho, "Potensi Tepung Nasi Dan Serta Limbah Daun Sebagai Alternatif Bahan Plastik Biodegradable," *J. Envirotek.*, vol. 10, no. 2, pp. 50-54, 2018.