

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PLASTIK *BIODEGRADABLE* BERBASIS KITOSAN DENGAN PENAMBAHAN LIGNIN DARI LIMBAH SABUT KELAPA

¹Erfan Yoga Rachmadani, ²Salesa Amilia Fateha, ³Caecilia Pujiastuti*, ⁴Sani, ⁵Suprihatin

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

*Penulis korespondensi: caecilia.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak. Meningkatnya penggunaan plastik sekali pakai berdampak buruk pada pencemaran lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk menyintesis dan mengkarakterisasi bioplastik biodegradable berbasis kitosan dengan penambahan lignin yang diisolasi dari limbah sabut kelapa sebagai filler. Metode yang digunakan dalam pembentukan film bioplastik adalah solvent casting. Lignin diperoleh melalui proses delignifikasi menggunakan NaOH 5% pada suhu 100°C selama 90 menit, diikuti dengan isolasi menggunakan H₂SO₄ 20% hingga mencapai pH 2. Sintesis bioplastik dilakukan dengan memvariasikan massa kitosan (1 ; 1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 g/100 ml) dan rasio volume campuran kitosan-lignin (0:1, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6). Campuran diaduk secara mekanik selama 4 jam pada suhu ruang sebelum dicetak dan dikeringkan pada suhu 100°C. Parameter yang diuji meliputi sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi putus), biodegradabilitas, ketebalan film, dan ketahanan terhadap air. Berdasarkan pengujian, variasi massa kitosan 3 gram dengan rasio volume kitosan:lignin (9:1) menunjukkan hasil yang paling mendekati standar Japanese Industrial Standard (JIS) 2-1707, dengan nilai kuat tarik optimum sebesar 4,1856 MPa dan elongasi sebesar 85,2%. Selain itu, material ini menunjukkan sifat biodegradabilitas yang sangat baik dengan laju degradasi 100% hanya dalam waktu 15 hari, serta rasio swelling (daya serap air) sebesar 55,23%. Meskipun nilai penyerapan air belum sepenuhnya memenuhi standar JIS, penambahan lignin terbukti meningkatkan stabilitas struktural matriks kitosan, sehingga berpotensi besar sebagai material pengemas ramah lingkungan.

Kata kunci: bioplastik, kitosan, lignin, sabut kelapa, solvent casting

Abstract. The increasing use of single-use plastics has a negative impact on environmental pollution due to their resistance to natural degradation. This study aims to synthesize and characterize chitosan-based biodegradable bioplastics with the addition of lignin isolated from coconut fiber waste as a filler. The method used in the formation of bioplastic films is solvent casting. Lignin was obtained through a delignification process using 5% NaOH at 100°C for 90 minutes, followed by isolation using 20% H₂SO₄ until it reaches pH 2. Bioplastic synthesis was carried out by varying the concentration of chitosan (10, 15, 20, 25, 30 g/L) and the volume ratio of the chitosan-lignin mixture (0:1, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6). The mixture was stirred mechanically for 4 hours at room temperature before being molded and dried at 100°C. The parameters tested included mechanical properties (tensile strength and elongation at break), biodegradability, film thickness, and water resistance. Based on the test, the variation of chitosan mass of 3 grams with a chitosan:lignin volume ratio (9:1) showed the results closest to the Japanese Industrial Standard (JIS) 2-1707 standard, with an optimum tensile strength value of 4.1856 MPa and an elongation of 85.2%. In addition, this material showed excellent biodegradability properties with a 100% degradation rate in just 15 days, and a swelling ratio (water absorption) of 55.23%. Although the water absorption value did not fully meet the JIS standard, the addition of lignin was shown to increase the structural stability of the chitosan matrix, thus having great potential as an environmentally friendly packaging material.

Keywords: bioplastic, chitosan, lignin, coconut coir, solvent casting

1. Pendahuluan

Plastik merupakan material yang sangat luas digunakan dalam kehidupan sehari-hari, khususnya sebagai kemasan pangan. Namun, meningkatnya penggunaan plastik sekali pakai menyebabkan akumulasi limbah polimer yang sulit terurai di lingkungan. Di perairan, limbah plastik dapat terfragmentasi menjadi mikroplastik yang berpotensi membahayakan organisme hidup dan rantai makanan. Selain dampak lingkungan, kemasan plastik konvensional juga menimbulkan kekhawatiran terhadap keamanan pangan karena berpotensi melepaskan senyawa kimia berbahaya bagi kesehatan konsumen. Oleh karena itu, pengembangan kemasan biodegradable yang ramah lingkungan dan aman bagi pangan menjadi kebutuhan mendesak.

Kitosan merupakan salah satu polimer alami yang potensial sebagai bahan dasar plastik biodegradable. Kitosan bersifat biokompatibel, non-toksik, serta memiliki kemampuan membentuk film yang baik. Keberadaan gugus amina ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$) pada struktur kitosan menjadikannya reaktif dan mudah dimodifikasi secara kimia (Azmana et al., 2021). Selain itu, kitosan memiliki sifat antimikroba yang memberikan nilai tambah dalam aplikasi pengemasan pangan karena mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan produk (Priyadarshi and Rhim, 2020). Meskipun demikian, kitosan murni umumnya memiliki keterbatasan sifat mekanik sehingga memerlukan penambahan bahan penguat untuk meningkatkan performanya (Crouvisier-Urien et al., 2016).

Salah satu bahan penguat yang berpotensi adalah lignin, yaitu makromolekul aromatik alami yang kaya akan gugus fenolik. Lignin diketahui mampu meningkatkan kekakuan dan kekuatan mekanik bioplastik melalui pembentukan ikatan hidrogen dengan matriks polimer (Crouvisier-Urien et al., 2016). Selain itu, sifat hidrofobik dan antioksidan lignin berkontribusi dalam meningkatkan ketahanan air material bioplastik (Solihat, 2021). Limbah sabut kelapa merupakan sumber lignin yang sangat melimpah dengan kandungan lignin yang relatif tinggi ($\pm 40-50$ wt%), sehingga pemanfaatannya tidak hanya meningkatkan nilai tambah material tetapi juga mengurangi permasalahan limbah biomassa (Anuchi, Campbell and Hallett, 2022).

Penelitian sebelumnya oleh Chen (2009) menunjukkan bahwa penambahan lignin industri pada konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kuat tarik bioplastik. Namun, sebagian besar penelitian masih menggunakan lignin komersial, sementara kajian mengenai pemanfaatan lignin hasil isolasi dari limbah sabut kelapa serta pengaruh variasi massa kitosan dan rasio volume lignin terhadap sifat bioplastik masih terbatas. Padahal, rasio komposisi polimer dan filler sangat menentukan homogenitas, fleksibilitas, dan kekuatan mekanik film bioplastik (Yustinah et al., 2023). Pemilihan rentang rasio kitosan-lignin dari 0:1 hingga 4:6 didasarkan pada kebutuhan untuk mempertahankan kitosan sebagai matriks pembentuk film yang dominan, sekaligus mengoptimalkan peran lignin sebagai agen penguat (reinforcing agent) tanpa menyebabkan kerapuhan akibat agregasi molekul lignin pada konsentrasi tinggi.

Berdasarkan tinjauan pustaka tersebut, hipotesis penelitian ini adalah bahwa penambahan lignin dari limbah sabut kelapa dalam jumlah terbatas dapat meningkatkan kekuatan tarik bioplastik melalui pembentukan jaringan ikatan hidrogen yang intens dengan matriks kitosan. Penambahan lignin dalam penelitian ini bertujuan untuk memperkuat struktur tersebut melalui pembentukan jaringan interaksi antarmolekul yang spesifik. Secara ilmiah, hal ini dimungkinkan melalui pembentukan ikatan silang fisik (physical cross-linking) antara gugus amina ($-NH_2$) pada kitosan dengan gugus hidroksil fenolik pada lignin. Sinergi ini menciptakan matriks yang lebih rapat dan stabil, yang secara teoritis akan meningkatkan kuat tarik bioplastik (Kristiningsih et al (2024). Namun,

penambahan lignin harus dioptimasi, karena kadar yang berlebihan dapat memicu agregasi molekul yang menyebabkan penurunan homogenitas dan fleksibilitas film.. Selain itu, variasi komposisi kitosan dan lignin diharapkan dapat mempercepat laju biodegradasi bioplastik melalui aktivitas mikroorganisme tanah dibandingkan plastik konvensional (Alpin et al., 2023; Timbuleng et al., 2024).

Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menggunakan lignin komersial, penelitian ini berfokus pada pemanfaatan lignin hasil isolasi limbah sabut kelapa untuk mengeksplorasi potensi spesifik polimer alam lokal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan komposisi optimum bioplastik berbasis kitosan dengan penambahan filler lignin dari limbah sabut kelapa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi lignin terhadap sifat mekanik dan laju biodegradasi, guna mencapai standar JIS 2-1707. Melalui optimasi komposisi, diharapkan bioplastik yang dihasilkan tidak hanya memiliki ketahanan air yang unggul karena sifat hidrofobik lignin, tetapi juga tetap dapat terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme tanah dalam waktu yang relatif singkat.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan baku utama pada penelitian ini adalah lignin yang diekstrak dari limbah sabut kelapa yang diperoleh dari daerah Kota Surabaya dengan kandungan lignin 50 wt%, selulosa 20-30 wt%, hemiselulosa 15-30 wt%, kitosan udang yang diperoleh dari Phy Edumedia dengan derajat deasetilasi 98,03% dengan berat molekul 75,02 KDa. Bahan lain yang digunakan seperti aquadest, asam asetat glacial, diperoleh dari UD. Nirwana Abadi, asam sulfat teknis diperoleh dari CV Chemindo Multi Sentosa dan natrium hidroksida diperoleh dari Nusa Kimia Surabaya.

2.2. Metode

a. Persiapan Bahan Baku

Tahap preparasi dimulai dengan pengeringan bahan baku sabut kelapa menggunakan oven pada suhu 100°C selama 90 menit. Sabut kelapa yang telah kering kemudian dilakukan pengecilan ukuran ±2cm untuk memperluas permukaan kontak. Selanjutnya, larutan NaOH 5% disiapkan sebagai pelarut. Sabut kelapa dicampurkan ke dalam larutan NaOH 5% tersebut dan dilakukan pengadukan selama 90 menit pada suhu konstan 100°C. Proses ini diakhiri dengan filtrasi untuk memisahkan fase filtrat dari residunya.

b. Isolasi Lignin

Isolasi lignin dilakukan dengan menambahkan larutan H₂SO₄ 20% ke dalam filtrat hasil preparasi secara perlahan hingga mencapai pH 2. Larutan kemudian didiamkan selama 12 jam untuk mengoptimalkan pembentukan endapan. Setelah waktu pendiaman terpenuhi, dilakukan filtrasi untuk memisahkan endapan lignin dari filtratnya. Endapan yang diperoleh selanjutnya dikeringkan dalam oven pada rentang suhu 50–60°C hingga mencapai berat konstan.

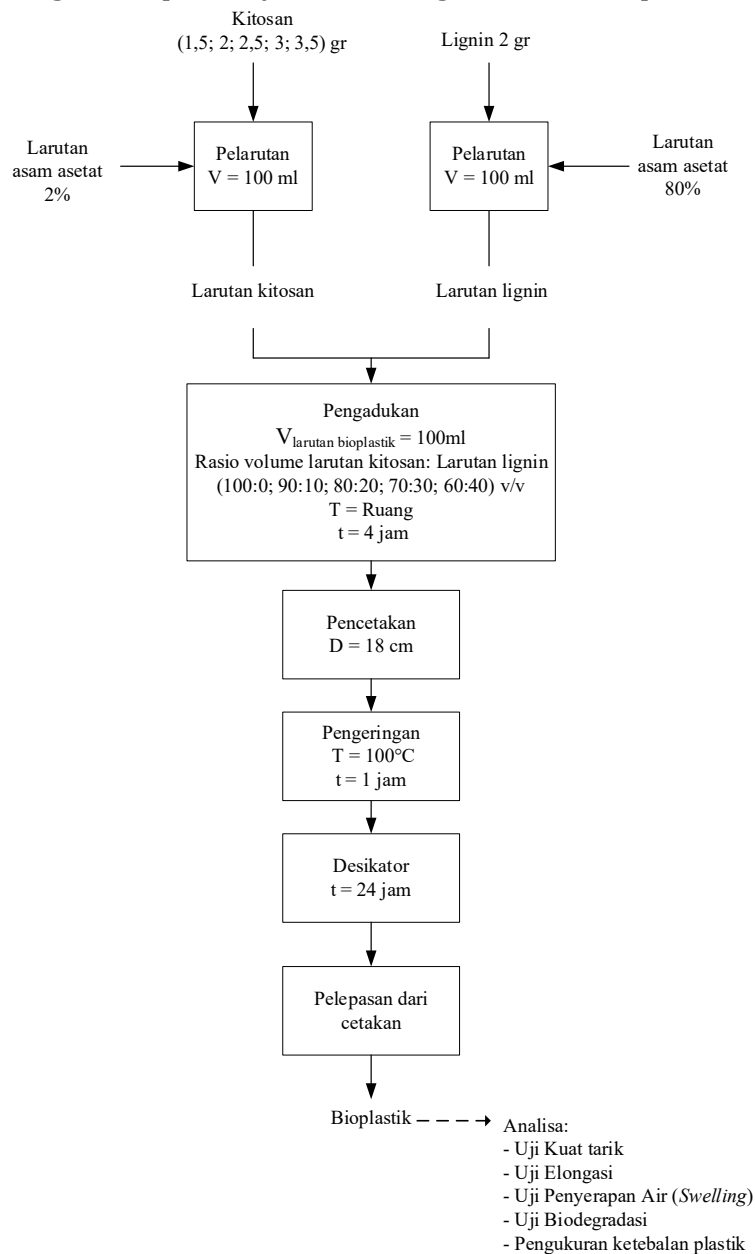
c. Analisis Lignin

Recovery lignin dihitung berdasarkan perbandingan massa lignin hasil presipitasi terhadap estimasi massa lignin terlarut hasil analisis metode Chesson-Datta. Persamaan recovery lignin ditunjukkan sebagai berikut:

$$\text{Recovery lignin (\%)} = \frac{\text{massa}_{\text{lignin hasil isolasi}}}{\text{massa}_{\text{lignin terlarut teoritis}}} \times 100\%$$

d. Sintesis Bioplastik

Sintesis bioplastik diawali dengan pelarutan kitosan ke dalam asam asetat 2% (V/V) pada variasi konsentrasi 10, 15, 20, 25, dan 30 g/L. Secara terpisah, lignin dilarutkan ke dalam asam asetat 80% (V/V) hingga konsentrasi 20 g/L tercapai. Larutan bioplastik dibentuk melalui pencampuran larutan kitosan dan larutan lignin dengan variasi rasio volume 0:1, 1:9, 2:8, 3:7, dan 4:6 dengan volume total larutan 100 ml. Campuran diaduk secara mekanik dengan kecepatan 400 rpm selama 4 jam pada suhu ruang untuk memastikan homogenitas matriks. Larutan homogen yang terbentuk kemudian dituangkan ke dalam cetakan kaca berdiameter 20 cm dan didiamkan hingga gelembung udara hilang (de-gassing). Tahap akhir melibatkan proses pengeringan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 90 menit hingga terbentuk lapisan bioplastik dengan target ketebalan awal rata-rata 0,5 cm. Pemilihan suhu ini dilakukan untuk memastikan evaporasi pelarut asam asetat secara sempurna dan memicu interaksi ikatan silang fisik yang optimal antara kitosan dan lignin tanpa menyebabkan degradasi termal pada struktur polimer.



Gambar 1. Diagram Alir Sintesis Bioplastik Kitosan/Lignin

2.3. Standar Metode Pengujian

Sebelum dilakukan pengujian karakteristik fisik dan mekanik, lapisan bioplastik yang telah kering dipotong dengan presisi menggunakan alat pemotong tajam untuk menghindari cacat tepi yang dapat memengaruhi konsentrasi tegangan. Spesimen dipreparasi dengan ukuran panjang 7,5 mm dan lebar 4 mm sesuai dengan dimensi cetakan dan kebutuhan alat uji. Seluruh pengujian karakteristik bioplastik dilakukan menggunakan tiga kali pengulangan (triplicate) pada setiap sampel guna menjamin validitas dan akurasi data.

1. Sifat Mekanis

Kekuatan tarik (*tensile strength*) dan perpanjangan (*elongation at break*) sampel diukur pada Universal Testing Machine (UTM) sesuai dengan standar JIS 2-1707.

2. Uji Biodegradasi

Biodegradasi adalah proses penguraian material menjadi komponen alam seperti air, CO₂, dan kompos yang terjadi akibat adanya mikroorganisme pada lingkungan yang bergantung pada kondisi suhu, pencahayaan, oksigen, kelembaban, dan struktur kimia material (Nissa et al., 2019). Teknik yang dapat dilakukan salah satunya adalah penanaman dalam tanah dan didekomposisi pada lingkungan terbuka selama 7 hari lalu diamati perubahan visualnya dan diukur perubahan beratnya untuk mendapatkan informasi laju degradasi sesuai standar JIS 2-1707 (Timbuleng et al., 2023).

3. Uji Ketebalan

Ketebalan bioplastik dapat diukur menggunakan alat mikrometer sesuai dengan standar ASTM D5947-18. Mikrometer dapat mengukur dimensi material dengan ukuran mikro sehingga sesuai untuk pengukuran ketebalan plastik.

4. Uji Ketahanan Air (Swelling Test)

Sampel bioplastik dipotong berukuran 5 × 5 cm, kemudian ditimbang untuk memperoleh massa awal (W_0). Sampel selanjutnya direndam dalam gelas beker berisi aquades selama 1 menit. Setelah waktu perendaman tercapai, sampel diangkat, permukaan air yang tersisa dikeringkan secara perlahan menggunakan kain kering, lalu sampel ditimbang kembali untuk mendapatkan massa akhir (W) sesuai standar JIS 2-1707.

3. Hasil dan Pembahasan

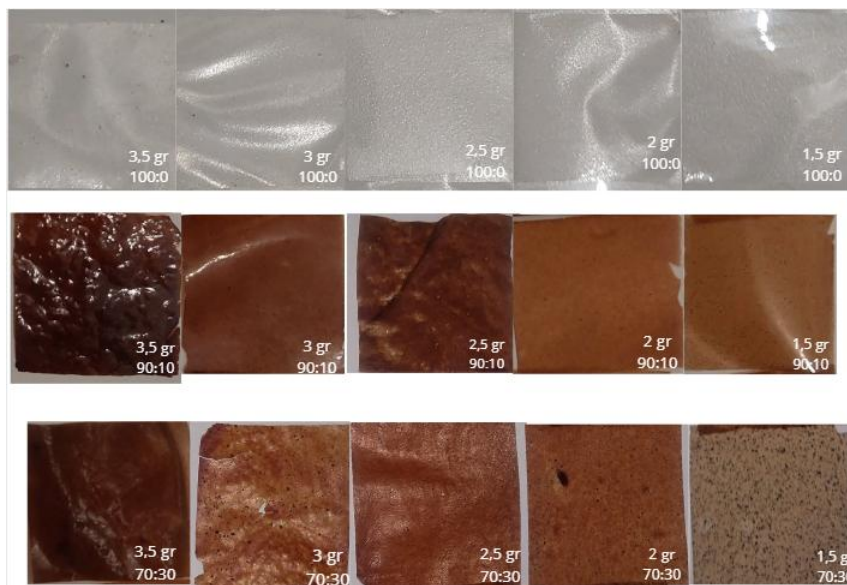
3.1. Isolasi Lignin Sabut Kelapa

Delignifikasi merupakan tahap awal dalam isolasi lignin dari biomassa lignoselulosa yang bertujuan memisahkan lignin dari selulosa dan hemiselulosa melalui perlakuan alkali. Pada sistem NaOH, ion OH⁻ memutus ikatan dalam struktur lignin, sedangkan ion Na⁺ membentuk natrium fenolat yang larut dalam air sehingga dihasilkan larutan berwarna hitam (*black liquor*) (Permata et al., 2021). Efektivitas delignifikasi dipengaruhi oleh konsentrasi alkali dan kondisi operasi; Dewi et al. (2021) melaporkan bahwa kondisi optimum NaOH 5% selama 90 menit pada suhu 90–100 °C menghasilkan pemisahan lignin yang berpengaruh, sementara konsentrasi alkali yang berlebihan dapat menurunkan efisiensi akibat kejenuhan pelarut (Irawan, Muslimah and Arifin, 2018). *Black liquor* selanjutnya diisolasi melalui presipitasi asam menggunakan H₂SO₄ hingga pH rendah, menghasilkan lignin padat berwarna cokelat kehitaman dengan pH akhir netral setelah pencucian. Berdasarkan analisis menggunakan metode Chesson-Datta, diperoleh kadar lignin hasil isolasi sabut kelapa sebesar 71%, yang menunjukkan bahwa proses delignifikasi dan presipitasi menghasilkan fraksi lignin dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi, sedangkan sisanya kemungkinan masih terdiri atas komponen lignoselulosa lain seperti selulosa, hemiselulosa, dan abu dalam jumlah lebih rendah. Selain itu, proses

presipitasi lignin menghasilkan recovery sebesar $\pm 77\%$ terhadap lignin terlarut. Recovery dihitung berdasarkan perbandingan massa lignin hasil presipitasi terhadap lignin teoritis hasil analisis Chesson-Datta. Secara umum, presipitasi lignin dari black liquor dilaporkan memberikan recovery pada kisaran 70–90% pada pH sekitar 2–3 karena penurunan pH menyebabkan reprotonasi gugus fenolat, berkurangnya muatan negatif, serta terjadinya agregasi dan pengendapan; namun fraksi lignin bermassa molekul rendah dapat tetap terlarut dalam fase cair (Fitzgerald and Thies, 2022). Dengan demikian, nilai recovery 77% berada dalam rentang yang dilaporkan dalam literatur dan mengindikasikan bahwa proses isolasi berlangsung secara efektif

3.2. Karakteristik Fisik & Visual Bioplastik Kitosan – Lignin

Hasil karakterisasi visual menunjukkan bahwa variasi rasio kitosan–lignin memberikan pengaruh nyata terhadap warna, opasitas, dan homogenitas permukaan bioplastik, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Sampel kontrol dengan rasio kitosan–lignin 100:0 menghasilkan film yang transparan, tidak berwarna, serta memiliki permukaan halus dan homogen. Kondisi ini mencerminkan terbentuknya matriks kitosan yang seragam dan stabil, sehingga dapat dijadikan acuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan lignin terhadap karakteristik visual bioplastik.



Gambar 2. Karakteristik Visual Bioplastik Kitosan-Lignin

Penambahan lignin sebesar 10% (rasio 90:10) menyebabkan perubahan warna film menjadi coklat dengan peningkatan opasitas serta munculnya ketidakteraturan pada permukaan film. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan lignin mulai memengaruhi distribusi fase dalam matriks kitosan. Pada rasio 70:30, intensitas warna coklat semakin meningkat dan permukaan film tampak semakin kasar serta kurang homogen, yang menunjukkan terjadinya penurunan kompatibilitas dan kemungkinan aglomerasi lignin dalam matriks kitosan pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Perubahan karakteristik visual tersebut berkaitan erat dengan perbedaan sifat optik dan morfologi antara kitosan dan lignin. Kitosan bersifat translusen hingga semi-tembus cahaya sehingga mampu membentuk film dengan tingkat transparansi yang relatif tinggi. Sebaliknya, lignin merupakan makromolekul aromatik berwarna coklat gelap dengan struktur amorf, sehingga keberadaannya dalam jumlah besar meningkatkan penyerapan dan hamburan cahaya, yang berdampak pada meningkatnya opasitas dan kegelapan warna

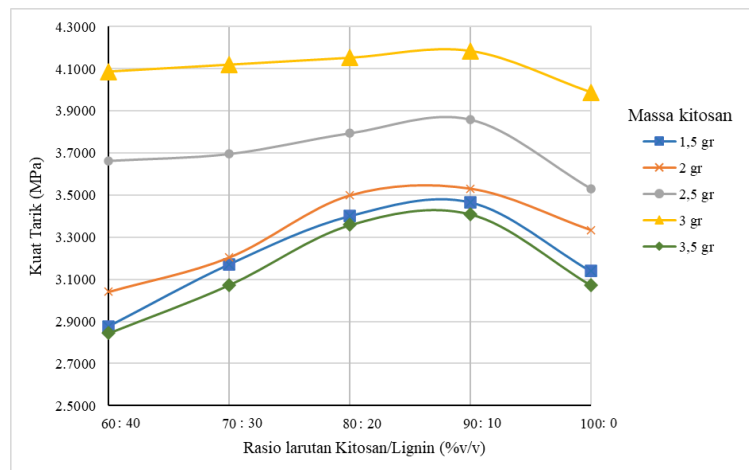
film. Selain itu, perbedaan polaritas dan struktur molekul antara kitosan dan lignin dapat menyebabkan distribusi filler yang kurang merata pada rasio lignin tinggi, sehingga menurunkan homogenitas permukaan film.

Hasil ini sejalan dengan temuan Ghozali (2017) yang melaporkan bahwa penambahan lignin pada material berbasis biopolimer cenderung menghasilkan warna film yang lebih gelap akibat dominasi warna alami lignin. Sementara itu, Yustinah (2019) menyatakan bahwa perubahan komposisi polimer dalam matriks film dapat memengaruhi sifat optik dan homogenitas akibat perubahan kerapatan struktur serta interaksi antarmolekul. Dengan demikian, peningkatan proporsi lignin dalam formulasi bioplastik berperan dominan dalam menentukan karakteristik visual film, khususnya warna dan homogenitas permukaan, yang selanjutnya berpotensi memengaruhi sifat mekanik dan fungsional bioplastik.

3.2. Sifat Mekanis Bioplastik Kitosan-Lignin

3.2.1. Kuat Tarik

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi rasio kitosan–lignin dan massa kitosan memberikan pengaruh terhadap kekuatan tarik bioplastik (Chen et al., 2009). Berdasarkan Gambar 3, nilai kuat tarik meningkat dari rasio 60:40 hingga mencapai nilai maksimum pada rasio 90:10 sebesar 4,18 MPa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan lignin dalam jumlah terbatas mampu memperkuat matriks kitosan tanpa menurunkan homogenitas struktur film..



Gambar 3. Pengaruh Rasio Larutan Kitosan/Lignin & Massa Kitosan terhadap Sifat Kuat Tarik Bioplastik

Peningkatan kuat tarik pada rasio 90:10 berkaitan dengan terbentuknya jaringan ikatan hidrogen yang intens antara gugus amina dan hidrosil kitosan dengan gugus fenolik lignin, sehingga menghasilkan matriks bioplastik yang lebih rapat dan kompak (Solihat et al., 2021; Yustinah et al., 2023; Vieira et al., 2024). Sebaliknya, pada rasio dengan kandungan lignin lebih tinggi, seperti 60:40, sifat lignin yang kaku dan kurang fleksibel menurunkan kompatibilitas campuran serta mendorong terbentuknya domain terpisah, sehingga film menjadi kurang homogen dan lebih mudah mengalami kegagalan mekanik (Ghozali et al., 2016; Chen et al., 2023).

Selain rasio komposisi, massa kitosan juga berpengaruh terhadap kuat tarik bioplastik. Variasi massa kitosan sebesar 1,5–3,5 g/100 mL menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tertinggi diperoleh pada konsentrasi 3,0 g/100 mL, khususnya pada rasio 90:10, dengan nilai sebesar 4,18 MPa. Peningkatan kuat tarik hingga konsentrasi optimum ini

disebabkan oleh meningkatnya jumlah rantai polimer yang berpartisipasi dalam pembentukan jaringan ikatan hidrogen antarmolekul, sehingga struktur matriks film menjadi lebih homogen dan mampu mendistribusikan tegangan secara lebih merata (Yustinah et al., 2023). Pada kondisi ini, ketebalan film berada pada kisaran 0,22–0,24 mm, yang masih sesuai dengan acuan ketebalan film plastik biodegradable menurut standar JIS 2-1707 (<0,25 mm).

Namun, pada massa kitosan yang lebih tinggi (3,5 g/100 mL), meskipun ketebalan film meningkat hingga sekitar 0,25–0,27 mm, nilai kuat tarik justru mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa kelebihan kitosan tidak seluruhnya berinteraksi secara efektif dalam matriks, sehingga menurunkan homogenitas struktur film dan meningkatkan potensi terjadinya kegagalan mekanik (Mali et al., 2005; Yustinah et al., 2023). Secara keseluruhan, nilai kuat tarik optimum sebesar 4,18 MPa telah memenuhi persyaratan minimum Japanese Industrial Standard (JIS) 2-1707 untuk plastik biodegradable.

Tabel 1. Perbandingan Sifat Mekanik Bioplastik

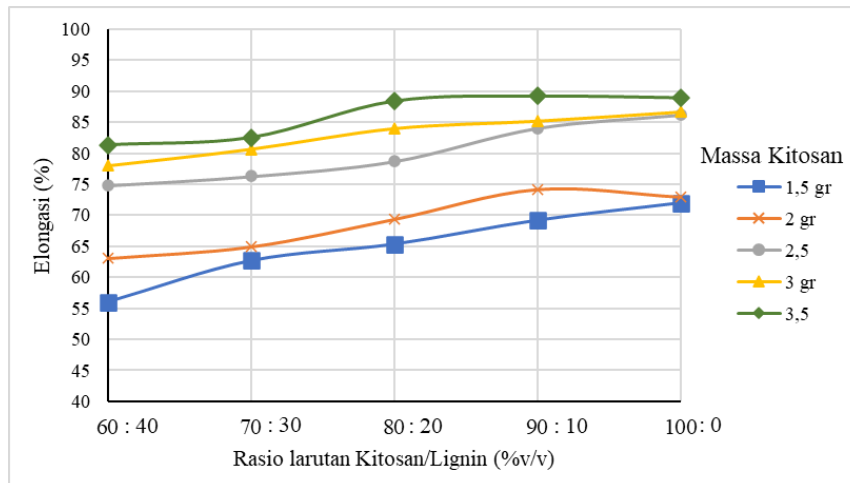
Komposisi Bioplastik	Kuat Tarik (MPa)	Elongasi (%)	Peneliti
Kitosan–lignin sabut kelapa	4,18	85,2	-
Kitosan kulit udang–lignin kayu akasia	34,82	2,74	(Ningrum et al., 2025)
Pektin–karagenan–kitosan	4,64	64,06	(Muryeti, Permata and Ningtyas, 2024)

Berdasarkan Tabel 1, nilai kuat tarik optimum pada penelitian ini masih lebih rendah dibanding beberapa penelitian bioplastik berbasis kitosan lainnya. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh jenis filler, kemurnian lignin, homogenitas campuran, derajat deasetilasi kitosan, serta kondisi proses sintesis dan pengeringan film. Pada penelitian ini, lignin hasil isolasi sabut kelapa masih dimungkinkan mengandung komponen non-lignin seperti hemiselulosa dan abu sehingga kompatibilitas antarmuka antara lignin dan matriks kitosan belum optimal. Selain itu, suhu pengeringan 100°C berpotensi menyebabkan penguapan pelarut yang cepat sehingga struktur film menjadi kurang homogen dan memengaruhi distribusi tegangan pada material. Meskipun demikian, nilai kuat tarik sebesar 4,18 MPa masih mendekati beberapa penelitian bioplastik berbasis polisakarida lain dan telah memenuhi batas minimum standar Japanese Industrial Standard (JIS) 2-1707 untuk plastik biodegradable

3.2.2. Elongasi

Berdasarkan Gambar 4, hasil pengujian menunjukkan bahwa rasio kitosan–lignin memberikan pengaruh nyata terhadap nilai perpanjangan putus bioplastik. Peningkatan rasio kitosan (penurunan fraksi lignin) cenderung meningkatkan kemampuan bioplastik untuk mengalami deformasi sebelum putus. Pada rasio 60:40, yaitu dengan kandungan lignin tertinggi, diperoleh nilai perpanjangan terendah pada seluruh variasi massa kitosan. Hal ini disebabkan oleh sifat lignin yang kaku dan memiliki struktur aromatik kompleks,

sehingga keberadaannya dalam jumlah besar membatasi mobilitas rantai polimer kitosan dan menurunkan fleksibilitas material (Abdullah et al., 2018).



Gambar 4. Pengaruh Rasio Larutan Kitosan/Lignin & Massa Kitosan terhadap Sifat Elongasi Bioplastik

Seiring berkurangnya kandungan lignin dari rasio 60:40 hingga 100:0, nilai perpanjangan putus meningkat secara konsisten. Fenomena ini menunjukkan bahwa lignin dalam jumlah tinggi menghambat pergerakan rantai polimer dan meningkatkan kekakuan struktural matriks bioplastik, sehingga kemampuan material untuk meregang sebelum putus menjadi lebih rendah. Kurangnya adhesi antarmuka antara lignin dan kitosan pada komposisi lignin tinggi juga berkontribusi terhadap meningkatnya sifat rapuh bioplastik dan penurunan sifat viskoelastisnya (Ghozali et al., 2016).

Penurunan elongasi pada rasio lignin tinggi juga berkaitan dengan perubahan morfologi film bioplastik. Penambahan lignin dalam jumlah besar dapat menyebabkan terbentuknya domain filler yang tidak terdispersi secara homogen di dalam matriks kitosan. Kondisi tersebut menghasilkan permukaan film yang lebih kasar dan meningkatkan kekakuan struktur sehingga mobilitas rantai polimer menjadi terbatas. Sebaliknya, pada rasio kitosan yang lebih tinggi, matriks film cenderung lebih homogen dan fleksibel sehingga nilai elongasi meningkat. Chen et al. (2009) melaporkan bahwa lignin dapat terdispersi dengan baik pada matriks kitosan pada konsentrasi rendah (<20 wt%) akibat adanya interaksi hidrogen yang kuat antara kedua komponen.

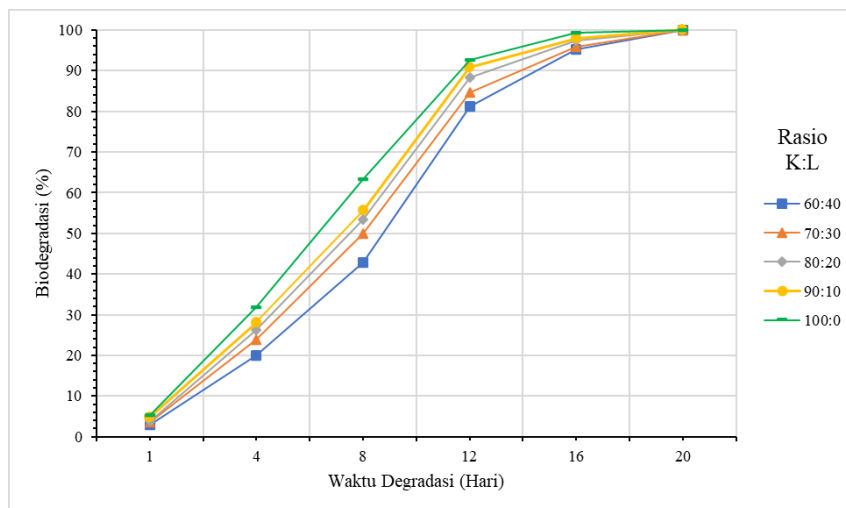
Berdasarkan Tabel 1, nilai elongasi bioplastik pada penelitian ini (56–89%) lebih tinggi dibanding bioplastik berbasis kitosan kulit udang–lignin kayu akasia yang hanya sebesar 2,74%. Perbedaan tersebut diduga disebabkan oleh lignin kayu akasia yang lebih rigid sehingga meningkatkan kekakuan film dan menurunkan fleksibilitas material. Sementara itu, nilai elongasi penelitian ini masih sebanding dengan bioplastik berbasis pektin–karagenan–kitosan sebesar 64,06%, menunjukkan bahwa matriks kitosan–lignin sabut kelapa masih mampu menghasilkan fleksibilitas yang baik. Hasil tersebut menunjukkan adanya *trade-off* antara kuat tarik dan elongasi, di mana peningkatan kandungan lignin cenderung meningkatkan kekakuan struktur film namun menurunkan kemampuan deformasi material sebelum putus.

Jika dibandingkan dengan standar Japanese Industrial Standard (JIS)2-1707, parameter kemuluran bioplastik yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sangat baik. Standar JIS mensyaratkan nilai perpanjangan putus lebih dari 50% untuk plastik biodegradable. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh sampel bioplastik kitosan–lignin

menunjukkan nilai perpanjangan putus dalam rentang 56–89%, sehingga seluruh formulasi telah memenuhi bahkan melampaui batas minimum yang ditetapkan oleh standar JIS. Hal ini mengindikasikan bahwa, meskipun penambahan lignin cenderung menurunkan fleksibilitas material, bioplastik yang dihasilkan masih memiliki tingkat kemuluran yang memadai untuk aplikasi kemasan.

3.3. Biodegradabilitas Bioplastik

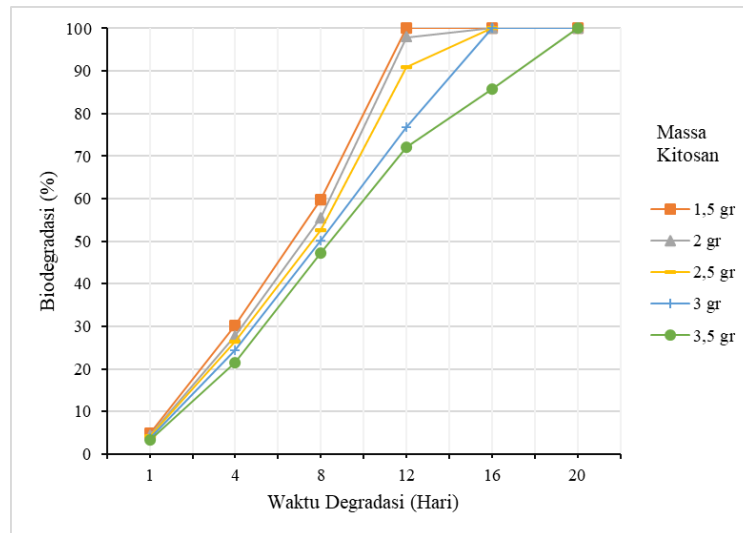
Uji biodegradabilitas dilakukan menggunakan metode soil burial test dengan media tanah aluvial. Sampel bioplastik ditanam di dalam tanah dan diamati secara berkala hingga mengalami degradasi sempurna. Pengujian dilakukan pada kondisi suhu dan kelembapan ambient. Selama pengujian, mikroorganisme dalam tanah memanfaatkan material bioplastik sebagai sumber karbon sehingga menyebabkan pemutusan rantai polimer secara bertahap. Pengamatan biodegradasi dilakukan berdasarkan perubahan kondisi fisik dan waktu degradasi sampel selama periode pengujian (Timbuleng et al., 2024).



Gambar 5. Pengaruh Rasio Larutan Kitosan/Lignin terhadap Sifat Biodegradasi Bioplastik

Berdasarkan Gambar 5, variasi rasio kitosan–lignin menunjukkan pengaruh terhadap laju biodegradasi bioplastik. Proses degradasi berlangsung secara bertahap sejak hari pertama hingga seluruh sampel terurai sempurna paling lama pada hari ke-20. Rasio kitosan/lignin 60:40 menunjukkan laju degradasi paling lambat, sedangkan rasio 100:0 mengalami degradasi paling cepat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan fraksi kitosan cenderung mempercepat proses biodegradasi bioplastik. Proses biodegradasi terjadi akibat aktivitas mikroorganisme tanah yang memanfaatkan rantai polimer alami sebagai sumber karbon. Kelembapan tanah menyebabkan penetrasi air ke dalam matriks bioplastik sehingga mempercepat proses hidrolisis dan degradasi enzimatik material. Kitosan yang bersifat hidrofilik lebih mudah terdegradasi karena memiliki gugus amina ($-NH_2$) dan hidroksil ($-OH$) yang mudah berinteraksi dengan air dan mikroorganisme. Sebaliknya, lignin memiliki struktur aromatik kompleks dan sifat lebih hidrofobik sehingga lebih sulit diuraikan oleh mikroorganisme dan cenderung memperlambat laju biodegradasi material (Chen et al., 2023). Penambahan lignin dalam jumlah tinggi juga dapat meningkatkan kekakuan dan kerapatan struktur film sehingga penetrasi air dan aktivitas mikroorganisme menjadi lebih terbatas. Akibatnya, formulasi dengan kandungan lignin

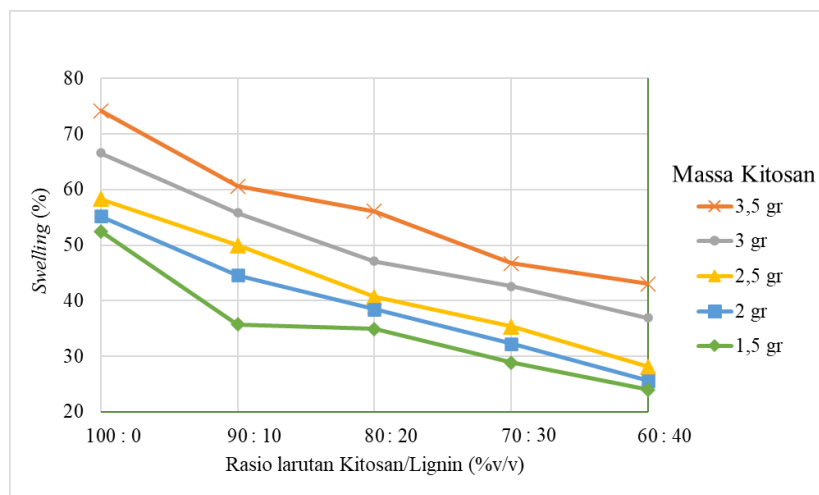
tinggi menunjukkan laju degradasi yang lebih lambat dibanding bioplastik dengan kandungan kitosan lebih besar



Gambar 6. Pengaruh Massa Kitosan terhadap Sifat Biodegradasi Bioplastik

Berdasarkan Gambar 6, variasi massa kitosan juga menunjukkan pengaruh terhadap laju biodegradasi bioplastik. Variasi massa kitosan 3,5gram menunjukkan laju degradasi paling lambat, sedangkan massa kitosan 1,5gram mengalami degradasi paling cepat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah massa kitosan, laju biodegradasi bioplastik cenderung meningkat. Peningkatan massa kitosan menyebabkan jumlah rantai polimer dalam matriks film menjadi lebih banyak dan rapat sehingga memperlambat penetrasi air serta aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan material. Sebaliknya, pada massa kitosan yang lebih rendah, struktur film cenderung lebih renggang sehingga air dan mikroorganisme lebih mudah masuk ke dalam matriks bioplastik dan mempercepat proses degradasi. Hasil ini menunjukkan bahwa komposisi polimer berpengaruh terhadap kestabilan struktur dan ketahanan biodegradasi bioplastik (Chen et al., 2023).

3.4. Swelling Bioplastik



Gambar 7. Pengaruh Rasio Larutan Kitosan/Lignin & Massa Kitosan terhadap Sifat Swelling Bioplastik

Hasil pengujian ketahanan air menunjukkan bahwa nilai swelling meningkat seiring bertambahnya rasio kitosan terhadap lignin pada seluruh variasi massa kitosan. Pada rasio 60:40, nilai swelling berada pada kisaran 25–38%, kemudian meningkat secara bertahap hingga 55–75% pada rasio 100:0. Tren ini berkaitan dengan sifat kitosan yang bersifat hidrofilik akibat keberadaan gugus $-OH$ dan $-NH_2$ yang mudah berinteraksi dengan molekul air, sedangkan lignin yang bersifat lebih hidrofobik berperan dalam memperkuat dan memadatkan matriks film sehingga membatasi penyerapan air (Mali et al., 2005). Dengan demikian, penurunan proporsi lignin menyebabkan berkurangnya karakter hidrofobik film dan meningkatkan kemampuan material menyerap air.

Variasi massa kitosan menunjukkan pola yang konsisten, di mana peningkatan massa kitosan menghasilkan nilai swelling yang lebih tinggi pada setiap rasio kitosan–lignin. Pada rasio 100:0, massa kitosan 3,5 g menghasilkan swelling sekitar 75%, sedangkan pada massa 1,5 g hanya sekitar 55%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan massa kitosan memperbesar fraksi polimer hidrofilik dan jumlah situs aktif yang berinteraksi dengan air, serta berpotensi meningkatkan porositas dan ketebalan film sehingga mempermudah penetrasi air (Brilianti, Ridlo dan Sedjati, 2023). Kombinasi rasio lignin tinggi dan massa kitosan rendah (60:40 dan 1,5–2 g) menghasilkan nilai swelling terendah (± 25 –35%), sedangkan formulasi tanpa lignin dengan massa kitosan tinggi menunjukkan nilai swelling tertinggi. Temuan ini menegaskan peran lignin sebagai komponen utama dalam meningkatkan resistansi air melalui sifat hidrofobiknya, sementara kitosan berkontribusi besar terhadap peningkatan hidrofilisitas film.

Jika dibandingkan dengan standar Japanese Industrial Standards (JIS) yang mensyaratkan nilai swelling kurang dari 14%, seluruh formulasi bioplastik pada penelitian ini belum memenuhi kriteria tersebut karena nilai swelling masih berada pada rentang 25–75%. Bahkan pada formulasi dengan kandungan lignin tertinggi, nilai swelling masih berada di atas batas standar. Nilai swelling yang tinggi menunjukkan bahwa bioplastik yang dihasilkan masih memiliki ketahanan air yang relatif rendah sehingga penggunaannya untuk aplikasi kemasan dengan kadar air tinggi masih terbatas. Penyerapan air yang berlebihan dapat menyebabkan penurunan stabilitas dimensi, melemahnya struktur mekanik, dan mempercepat kerusakan material selama penggunaan. Meskipun demikian, pengaturan rasio kitosan–lignin dan massa kitosan terbukti memberikan pengaruh terhadap sifat ketahanan air bioplastik. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi lanjutan seperti penggunaan agen *cross-linking* atau penambahan komponen hidrofobik untuk meningkatkan kerapatan struktur matriks dan menurunkan jumlah gugus hidrofilik bebas sehingga nilai swelling dapat dikurangi. Penggunaan agen *cross-linking* dilaporkan mampu meningkatkan ketahanan air dan menurunkan swelling dengan membentuk ikatan antarrantai polimer sehingga penetrasi air ke dalam matriks film menjadi lebih rendah (Boudouaia et al., 2022). Dengan demikian, bioplastik yang dihasilkan masih berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut agar dapat memenuhi standar JIS pada penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mensintesis bioplastik berbasis kitosan dengan penambahan lignin hasil isolasi sabut kelapa melalui metode *solution casting*. Variasi rasio kitosan–lignin dan massa kitosan memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik, biodegradabilitas, dan ketahanan air bioplastik. Penambahan lignin meningkatkan ketahanan air dan memperlambat laju biodegradasi akibat sifatnya yang lebih hidrofobik dibanding kitosan.

Seluruh sampel telah memenuhi standar elongasi dan biodegradabilitas berdasarkan standar JIS, namun belum memenuhi standar swelling karena ketahanan air yang masih rendah.

4.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan *plasticizer* yang memiliki sifat amfifilik atau memiliki gugus fungsi yang dapat berinteraksi dengan kitosan dan lignin
2. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi penggunaan agen hidrofobik atau modifikasi permukaan lignin guna menekan nilai swelling tanpa mengurangi sifat biodegradable material.
3. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan karakterisasi lanjutan seperti FTIR, SEM, dan analisis termal untuk mengkaji interaksi antarkomponen, morfologi permukaan, dan stabilitas termal bioplastik secara lebih mendalam. Selain itu, pengujian permeabilitas, migrasi pangan, dan aktivitas antimikroba juga perlu dilakukan untuk mendukung pengembangan bioplastik sebagai material kemasan ramah lingkungan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, khususnya Program Studi Teknik Kimia karena telah memfasilitasi jalannya penelitian ini sehingga penelitian dapat terlaksana. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak yang berkontribusi selama penelitian ini berlangsung.

References

- Abdullah, T., Gzara, L., Simonetti, G., Alshahrie, A., Salah, N., Morganti, P., Chianese, A., Fallahi, A., Tamayol, A., Bencherif, S. and Memic, A., 2018. The Effect of Poly (Glycerol Sebacate) Incorporation within Hybrid Chitin–Lignin Sol–Gel Nanofibrous Scaffolds. *Materials*, 11(3), p.451. <https://doi.org/10.3390/ma11030451>.
- Alpin, M., Gading, A.N., Syam, A.I.I., Zubair, A.N. and Rieuwpassa, I., 2023. Potensial use of sea shells as a biocomposite additive. *Makassar Dental Journal*, 12(1).
- Anuchi, S.O., Campbell, K.L.S. and Hallett, J.P., 2022. Effective pretreatment of lignin-rich coconut wastes using a low-cost ionic liquid. *Scientific Reports*, 12(1), p.6108. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09629-4>.
- Azmana, M., Mahmood, S., Hilles, A.R., Rahman, A., Arifin, M.A.B. and Ahmed, S., 2021. A review on chitosan and chitosan-based bionanocomposites: Promising material for combatting global issues and its applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 185, pp.832–848. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.023>.
- Boudouaia, N., Bendaoudi, A.A., Mahmoudi, H., Saffaj, T. and Bengharez, Z., 2022. Swelling and adsorption properties of crosslinked chitosan-based films: kinetic, thermodynamic and optimization studies. *Desalination and Water Treatment*, 255, pp.56–67. <https://doi.org/https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28321>.
- Brilianti, K.F., Ridlo, A. and Sedjati, S., 2023. Sifat Mekanik dan Ketebalan Bioplastik dari *Kappaphycus alvarezii* Menggunakan Variasi Konsentrasi Amilum dengan Pemplastis Gliserol. *Journal of Marine Research*, 12(1), pp.95–102. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.34169>.

Erfan Yoga Rachmadani, Salesa Amilia Fateha, Caecilia Pujiastuti, Sani, Suprihatin
caecilia.tk@upnjatim.ac.id: Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Berbasis Kitosan dengan
Penambahan Lignin dari Limbah Sabut Kelapa

- Chen, L., Tang, C., Ning, N., Wang, C., Fu, Q. and Zhang, Q., 2009. Preparation And Properties Of Chitosan/Lignin Composite Films. *Chinese Journal of Polymer Science*, 27(05), p.739. <https://doi.org/10.1142/S0256767909004448>.
- Chen, M., Li, Y., Liu, H., Zhang, D., Shi, Q.-S., Zhong, X.-Q., Guo, Y. and Xie, X.-B., 2023. High value valorization of lignin as environmental benign antimicrobial. *Materials Today Bio*, 18, p.100520. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2022.100520>.
- Crouvisier-Urien, K., Bodart, P.R., Winckler, P., Raya, J., Gougeon, R.D., Cayot, P., Domenek, S., Debeaufort, F. and Karbowski, T., 2016. Biobased Composite Films from Chitosan and Lignin: Antioxidant Activity Related to Structure and Moisture. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 4(12), pp.6371–6381. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00956>.
- Deivy Andhika Permata, Anwar Kasim, Alfi Asben, and Yusniwati, 2021. Delignification of Lignocellulosic Biomass. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 12(2), pp.462–469. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.12.2.0618>.
- Dewi, I.A., Ihwah, A., Setyawan, H.Y., Kurniasari, A.A.N. and Ulfah, A., 2021. Optimization of NaOH concentration and cooking time in delignification of mature coconut (*Cocos nucifera* L.) coir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1), p.012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012034>.
- Fitzgerald, C.L. and Thies, M.C., 2022. Continuous recovery of high-purity Kraft lignin from black liquor via simultaneous, liquid-phase acidification and purification. *Industrial Crops and Products*, 184, p.115084. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115084>.
- Ghozali, M., Triwulandari, E., Haryono, A. and Yuanita, E., 2016. Effect of lignin on morphology, biodegradability, mechanical and thermal properties of low linear density polyethylene/lignin biocomposites. *Materials Science and Engineering*.
- Irawan, D., Muslimah, N. and Arifin, Z., 2018. Lignin Isolation From Coconut Coir With Variation Of Time And Concentration Of Naoh In The Process Of Alkaline Delignification. *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(4), pp.1458–1460. <https://doi.org/10.31788/RJC.2018.1144039>.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., García, M.A., Martino, M.N. and Zaritzky, N.E., 2005. Mechanical and thermal properties of yam starch films. *Food Hydrocolloids*, 19(1), pp.157–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.05.002>.
- Muryeti, Permata, H. and Ningtyas, R., 2024. Mechanical properties of bioplastic from pectin, carrageenan, and chitosan. *AIP Conference Proceedings*, 3222(1), p.060004. <https://doi.org/10.1063/5.0229992>.
- Ningrum, P., Hidayati, S., Hidayat, W., Rizal, S., Agustiany, E.A., Rochima, E., Hua, L.S., Martino, A.D., Iswanto, A.H. and Fatriasari, W., 2025. Characteristics of Bioplastics Based on Chitosan and Kraft Lignin Derived from *Acacia mangium*. *Journal of Renewable Materials*, 13(7), pp.1367–1388. <https://doi.org/https://doi.org/10.32604/jrm.2025.02025-0006>.
- Priyadarshi, R. and Rhim, J.-W., 2020. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 62, p.102346. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102346>.
- Solihat, N.N., Sari, F.P., Falah, F., Ismayati, M., Lubis, M.A.R., Fatriasari, W., Santoso, E.B. and Syafii, W., 2021. Lignin as an Active Biomaterial: A Review. *Jurnal Sylva Lestari*, 9(1), pp.1–22. <https://doi.org/10.23960/jsl191-22>.

- Timbuleng, N., Naharia, O., Gedoan, S.P., Mocosuli, Y.S., Rahardiyan, D. and Moko, E.M., 2024. Biodegradasi Bioplastik Berbahan Dasar Pati Daluga (*Cyrtosperma merkusii*) dengan Cellulose Nano Crystal sebagai Agen Reinforcement sebagai Dasar Pengembangan Food Packaging. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, [online] 12(3). <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i3.67917>.
- Vieira, F., Santana, H.E.P., Jesus, M., Mata, F., Pires, P., Vaz-Velho, M., Silva, D.P. and Ruzene, D.S., 2024. Comparative Study of Pretreatments on Coconut Fiber for Efficient Isolation of Lignocellulosic Fractions. *Sustainability*, 16(11), p.4784. <https://doi.org/10.3390/su16114784>.
- Yustinah, Y., Ab, S., Solekhah, P.P., Novitasari, G.P., Nuryani, F., Djaeni, M. and Buchori, L., 2023. Pengaruh Jumlah Kitosan dalam Pembuatan Plastik Biodegradabel dari Selulosa Sabut Kelapa dengan Pemplastik Gliserol. *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, 7(2), p.143. <https://doi.org/10.30595/jrst.v7i2.15598>.