

Karakteristik Bioplastik Berbasis Pati Talas Belitung dengan Penguat Selulosa Kulit Nanas dan Pemlastis Sorbitol

Characteristics of Belitung Taro Starch-Based Bioplastics with Pineapple Peel Cellulose Reinforcements and Sorbitol Plasticizers

Yiyin Nanisha, Sukmiyati Agustin*

Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Jl. Gunung Kelua, Samarinda 75119, Indonesia

*Penulis korespondensi: Sukmiyati Agustin, e-mail: sukmiyati.agustin@faperta.unmul.ac.id

ABSTRACT

Bioplastics are biodegradable polymers derived from renewable sources such as starch and cellulose. Belitung taro (*Xanthosoma sagittifolium*), which is rich in amylose and amylopectin, contributes to gel formation and supports the flexibility, thermal stability, and biodegradability of starch-based bioplastics. Cellulose, a strong and renewable biopolymer, can function as a reinforcing agent, while sorbitol acts as a plasticizer to improve flexibility. This study aimed to evaluate the effect of pineapple peel-derived cellulose and sorbitol on the characteristics of Belitung taro starch-based bioplastics. Cellulose was extracted from pineapple peel waste, and the bioplastics were prepared using the solvent casting method. The experiment employed a Completely Randomized Design with two factors: cellulose addition (3, 4, and 5 g) and sorbitol addition (3, 4, and 5 g). Data were analyzed using ANOVA followed by Tukey's test at a 5% significance level. The results showed that the addition of cellulose and sorbitol significantly affected film thickness, but did not significantly influence water vapor permeability, opacity, solubility, or biodegradability. The bioplastics exhibited a blue-gray color and demonstrated tensile strength values ranging from 4.322 to 10.110 N/mm², meeting the BSN 2014 and JIS 2019 standards. Elongation at break (39%), low water vapor permeability (0.0027–0.0094 g/m²/day), high opacity (5.85–8.91 abs/mm), acceptable solubility (0.12–0.25%), and complete degradation within 14 days indicate promising potential for UV-resistant food packaging. Although some properties have not fully met standard limits, the bioplastic is considered economical and environmentally friendly.

Keywords: Bioplastic, Belitung taro starch, cellulose, sorbitol

ABSTRAK

Bioplastik adalah plastik yang dibuat dari bahan polimer alami seperti pati, selulosa, dan sorbitol yang mudah terurai. Talas Belitung, yang mengandung amilosa dan amilopektin, berperan penting dalam pembentukan gel, serta memberikan fleksibilitas, stabilitas termal, dan kemampuan biodegradasi bioplastik. Selulosa bersifat kuat, keras, dapat terdegradasi, dan dapat diperbarui, sehingga potensial sebagai bahan tambahan bioplastik. Sorbitol digunakan sebagai bahan aditif untuk meningkatkan fleksibilitas bioplastik. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penambahan selulosa kulit nanas dan sorbitol pada sifat mekanis dan fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung, serta pengujian sifat mekanik dan fisik. Penelitian didisain dalam Rancangan Acak Lengkap dia faktor yaitu variasi penambahan selulosa dan sorbitol masing-masing sebanyak 3, 4, dan 5 gram, Data dianalisis dengan analisis ragam dan uji Tukey pada tingkat signifikansi 5%. Hasil penelitian menunjukkan penambahan selulosa dan sorbitol berpengaruh nyata pada ketebalan, tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap permeabilitas uap air, opasitas, kelarutan, dan biodegradasi. Warna bioplastik yang dihasilkan cenderung biru keabu-abuan. Kuat tarik bioplastik memenuhi standar BSN 2014 dan JIS 2019, dengan nilai 4,322–10,110 N/mm², sedangkan elongasi memenuhi standar BSN 2014 (39%). Permeabilitas uap air rendah (0,0027–0,0094 g/m²/hari), dan opasitas bioplastik yang tinggi (5,85–8,91%) menunjukkan potensi sebagai kemasan

pangan yang tahan sinar UV. Nilai kelarutan bioplastik (0,12–0,25%) sesuai standar, dan bioplastik terdegradasi setelah 14 hari penguburan sesuai BSN 2014. Meskipun ketebalan dan permeabilitas belum memenuhi standar, bioplastik ini ekonomis dengan biaya produksi rendah.

Kata kunci: Bioplastik, pati talas Belitung, selulosa, sorbitol

PENDAHULUAN

Penggunaan plastik konvensional berbahan baku minyak bumi (Mulyana *et al.*, 2024) sebagai bahan pengemas terus meningkat dari tahun ke tahun (Akmala & Supriyo, 2020), didorong oleh pertumbuhan konsumsi dan perkembangan teknologi. Plastik yang terbuat dari polimer sintetik memiliki keterbatasan baik dalam hal bahan baku yang tidak dapat diperbaharui, sulit terurai di alam dan proses daur ulang yang sulit. Salah satu upaya dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan oleh plastik konvensional adalah bahan kemasan yang lebih ramah lingkungan, salah satunya bioplastik. Bioplastik dapat dimodifikasi (Sultan *et al.*, 2024), merupakan alternatif yang berkelanjutan (Izzati *et al.*, 2024), dengan karakteristik yang mirip dengan plastik konvensional, seperti transparansi, warna, dan tekstur permukaan sehingga dapat digunakan layaknya plastik konvensional, dengan kemampuannya yang mudah terdegradasi oleh mikroorganisme alami, menghasilkan air dan gas karbon dioksida sebagai produk akhir (Sriyana *et al.*, 2023). Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh bioplastik yakni kuat tarik 24,7-302 MPa, elongasi 21-220 %, biodegradasi 60 % (BSN, 2022; JIS, 2019), permeabilitas uap air 7 g/m²/hari (JIS, 2019), ketebalan max. 0,25 mm (JIS, 2019), dan kelarutan 0,24-0,35 % (Chisenga *et al.*, 2020).

Berbagai polimer alam telah diidentifikasi sebagai bahan baku potensial untuk produksi bioplastik, diantaranya adalah pati. Pati sangat menjanjikan sebagai bahan baku bioplastik karena ketersediaannya yang melimpah di alam, sifatnya yang mudah terurai, dan sumbernya yang dapat diperbarui (Putri *et al.*, 2021). Pati dapat diekstrak dari berbagai jenis tumbuhan yang mengandung karbohidrat, salah satunya talas Belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) yang mengandung pati 70-80 %. Namun, plastik yang hanya berbahan dasar pati memiliki karakteristik yang kaku, rapuh, dan mudah menyerap air. Oleh karena itu, diperlukan penambahan zat aditif seperti *filler* dan *pemlastis* untuk menghasilkan bioplastik dengan karakteristik yang lebih baik (Yaqin *et al.*, 2023). Selulosa merupakan senyawa organik yang sangat melimpah dan mudah ditemukan salah satunya pada limbah kulit nanas (*Ananas comosus* L.) yakni

sebesar 98,68 % (Sulaiman *et al.*, 2022; Sani *et al.*, 2023). Penambahan *filler* selulosa pada bioplastik dapat meningkatkan kekuatan tarik hingga 108 %, mengurangi perpanjangan sebesar 10 %, meningkatkan ketahanan terhadap air dan biodegradabilitas (Danni *et al.*, 2023; Dewi *et al.*, 2023). Pemanfaatan selulosa sebagai *filler* pada bioplastik dapat menghasilkan bioplastik dengan tingkat degradasi yang lebih tinggi dibandingkan bioplastik tanpa selulosa dan mencapai degradasi hingga 100 % selama 15 hari penguburan (Elisusanti *et al.*, 2019).

Pemlastis bekerja sebagai penurun kekuatan intermolekular, meningkatkan fleksibilitas, elastisitas dan ekstensibilitas pada bioplastik. Sifatnya stabil, tidak terdegradasi oleh cahaya dan panas, tidak menyebabkan perubahan warna polimer, serta dapat menghasilkan bioplastik yang elastis dan dapat meningkatkan nilai regang (Afdal *et al.*, 2022; Andahera *et al.*, 2019). Das & Kalyani (2022) menyatakan penambahan *pemlastis* dapat mengurangi kerapuhan material, memudahkan proses pembuatan bioplastik dan pencetakan. Bioplastik berbasis pati dengan penambahan sorbitol memiliki kelebihan yaitu mampu menahan tarikan lebih baik dibandingkan bioplastik yang hanya berbahan dasar pati (Andahera *et al.*, 2019). Sorbitol merupakan salah satu *pemlastis* yang dapat mengurangi ikatan hidrogen sehingga menghambat penguapan air dari produk, mudah larut dalam tiap rantai polimer sehingga dapat mempermudah gerakan molekul polimer, permeabilitas oksigen yang lebih rendah, tersedia melimpah dengan harga yang terjangkau, dan bersifat *biodegradable* (Dinda *et al.*, 2024; Melani *et al.*, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan selulosa kulit nanas dan sorbitol terhadap sifat mekanik dan fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari pati talas Belitung merk Tepung Nusantara dan kulit nanas yang diperoleh dari pedagang nanas di jalan Sempaja-Samarinda. Penelitian didesain dalam rancangan acak lengkap

dua faktor yaitu penambahan selulosa kulit nanas (3, 4, dan 5 g) dan sorbitol (3, 4 dan 5 g) dengan tiga ulangan. Pengamatan dilakukan terhadap kuat tarik dan elongasi, permeabilitas uap air, opasitas, warna, kelarutan, ketebalan, dan biodegradabilitas bioplastik.

Prosedur Penelitian

Isolasi selulosa dari kulit nanas (Sumiati et al., 2023; Wrsiati et al., 2022)

Limbah kulit nanas disortasi, dicuci dan dipotong dengan ukuran $\pm 2 \times 2$ cm, kemudian dikeringkan menggunakan *food dehydrator* pada suhu 60 °C selama 48 jam. Setelah itu, kulit nanas digiling dan diayak (80 mesh) hingga mendapatkan serbuk kulit nanas. Selanjutnya untuk tahap delignifikasi, NaOH (Merck, Jerman) sebanyak 40 g dilarutkan dalam 500 mL akuades, kemudian ditambahkan 50 g serbuk kulit nanas, dan diautoklaf pada suhu 121 °C selama 30 menit. Filtrat yang dihasilkan kemudian disaring dan dilakukan pencucian menggunakan akuades hingga pH residu netral. Untuk tahap *bleaching*, 50 g *pulp* kulit nanas direndam dalam 105 g larutan NaOCl 5 % (Merck, Jerman) selama 12-20 menit, kemudian dicuci untuk menghilangkan residu pemutih.

Pembuatan bioplastik (Imron dan Gancang, 2024)

Bioplastik diproduksi melalui metode *solvent casting* dengan mencampurkan pati, selulosa, dan sorbitol sesuai perlakuan. Selanjutnya ditambahkan akuades 80 mL dan diaduk selama 5 menit pada suhu ruang menggunakan magnetik *stirer*, dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga suhu 45 °C, dan diaduk selama 20 menit pada suhu 70-80 °C hingga tergelatinisasi sempurna. Larutan dicetak menggunakan cawan petri 25 mL, kemudian dikeringkan dalam oven selama 8 jam pada suhu 50 °C.

Uji kuat tarik dan elongasi (ASTM-D882-02, 2002)

Pengujian kekuatan tarik dan elongasi dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) ZWICK Z.05. Bioplastik digunting selebar 5×5 cm untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam *grip* penguncian. Setiap spesimen sampel ditarik pada kecepatan 10 nm/menit hingga putus.

Uji permeabilitas uap air (*Water Vapor Permeability, WVP*) (ASTM E96-95, 1995)

Pengujian dilakukan dengan mengisi tabung reaksi dengan 2 g NaCl, kemudian ditutup dengan bioplastik dan disimpan dalam *dry cabinet* dengan suhu dan RH terkendali. Sampel diamati selama 5 hari dengan dilakukan penimbangan setiap hari. Nilai WVP dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$k/x = \frac{\Delta W/\Delta \theta}{A \times P_{out}} \quad \dots (1)$$

Keterangan: k/x = Permeabilitas kemasan (g H₂O/hari.m².mmHg); P_{out} = Tekanan uap air di luar kemasan (mmHg); A = Luas penampang kemasan (m²); $\Delta W/\Delta \theta$ = Perubahan bobot (g).

Uji Opasitas (Wang et al., 2018)

Analisis opasitas dilakukan dengan menggunakan UV-VIS *Spectrophotometer* (US-110 PC-InScienPro). Sampel diletakkan dalam kuvet dengan udara bertindak sebagai standar, absorbansi diukur pada panjang gelombang 600 nm berdasarkan Persamaan 2.

$$\text{Opasitas} = \frac{A_{600}}{x} \quad \dots (2)$$

Keterangan: A_{600} = Absorbansi sampel pada 600 nm; x = Ketebalan sampel (mm)

Uji Warna (Wang et al., 2018)

Warna dari bioplastik diuji dengan alat *colorimeter* menggunakan notasi CIELab. Sampel ditempelkan pada permukaan *colorimeter* kemudian akan terlihat nilai $L^*a^*b^*$ dari tiap sampel. Notasi L^* merepresentasikan kecerahan dengan nilai berkisar antara 0 (hitam)-100 (putih), notasi a^* menunjukkan warna hijau-merah dengan nilai negatif untuk warna kehijauan dan positif untuk warna kemerahan, sedangkan notasi b^* mengindikasikan warna biru-kuning dengan nilai negatif untuk warna kebiruan dan positif untuk warna kekuningan.

Uji Kelarutan (Sunardi et al., 2020)

Sampel berukuran 2×2 cm direndam dalam akuades 10 mL selama 24 jam. Sampel disaring dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 30 menit. Persentase kelarutan dihitung berdasarkan Persamaan 3.

$$\text{Kelarutan (\%)} = \frac{\Delta W}{W_0} \times 100\% \quad \dots (3)$$

Keterangan: ΔW = Perubahan massa (g); W_0 = Massa awal (g)

Uji Ketebalan (Choubey *et al.*, 2023)

Ketebalan bioplastik diukur menggunakan mikrometer (*Tricle Brand*) pada 5 titik yang berbeda, dimana bioplastik dipegang antara *stylus* dan landasan kemudian pembacaan diukur secara langsung. Ketebalan rata-rata bioplastik diperoleh dari hasil tiga kali pengukuran berbeda.

Uji Biodegradabilitas (Choubey *et al.*, 2023)

Sampel bioplastik dipotong-potong dengan ukuran 2 × 2 cm. Sampel bioplastik ditanam di dalam 500 g tanah humus sedalam 2 cm selama 14 hari. Uji biodegradabilitas diukur dengan Persamaan 4.

$$\text{Biodegradabilitas (\%)} = \left(\frac{W_o - W}{W_o} \right) \times 100 \quad \dots (4)$$

Keterangan: W_o = Bobot sampel sebelum biodegradasi; W = Bobot sampel sesudah biodegradasi

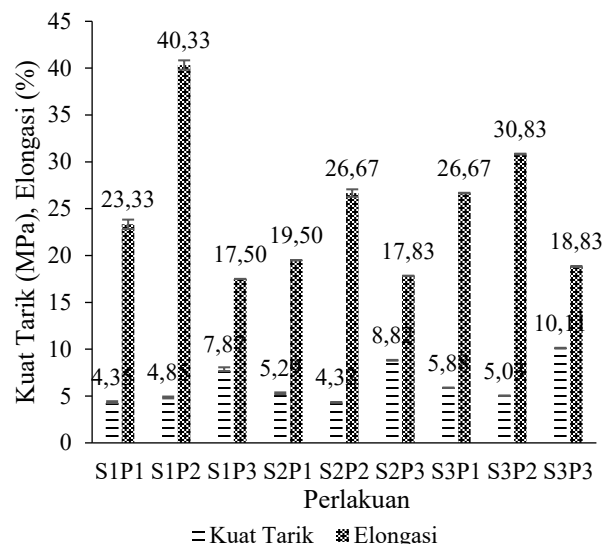
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik dan Elongasi

Nilai kuat tarik dan elongasi bioplastik dengan variasi penambahan selulosa dan sorbitol (Gambar 1) tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Nilai kuat tarik menurut BSN (2022) adalah 24,7-302 MPa dan minimal 0,392 MPa menurut JIS (2019), sedangkan elongasi menurut BSN (2022) yakni sebesar 21 – 220 % dan minimal 70 % menurut JIS (2019). Jika dibandingkan dengan standar, nilai kuat tarik bioplastik yang dihasilkan pada penelitian ini sudah memenuhi standar JIS (2019) pada semua sampel yakni 6,04 MPa pada kontrol dan 4,322-10,110 MPa pada sampel, namun tidak memenuhi SNI 7188-7:2022. Nilai elongasi bioplastik sudah memenuhi SNI (2022) namun belum memenuhi standar JIS (2019), dengan nilai 39 % pada kontrol dan berkisar 17,5-40 % pada sampel dengan penambahan selulosa.

Adanya ikatan hidrogen intermolekuler antara gugus hidroksil dari pati dan gugus karboksil dari selulosa menyebabkan nilai kuat tarik bioplastik meningkat (Danni *et al.*, 2023). Penambahan sorbitol dalam konsentrasi tinggi akan menghasilkan nilai kuat tarik yang rendah (Rosadi *et al.*, 2024). Pada sampel dengan penambahan selulosa dan sorbitol 5 g menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi. Hal ini dikarenakan penambahan selulosa pada pembuatan bioplastik akan meningkatkan nilai kuat tarik bioplastik seperti

pada penelitian bioplastik berbahan dasar pati ubi ganyong (Lailyningtyas *et al.*, 2020).



Keterangan: S1P1= Selulosa 3g + Sorbitol 3g; S1P2= Selulosa 3g + Sorbitol 4g; S1P3= Selulosa 3g + Sorbitol 5g; S2P1= Selulosa 4g + Sorbitol 3g; S2P2= Selulosa 4g + Sorbitol 4g; S2P3= Selulosa 4g + Sorbitol 5g; S3P1= Selulosa 5g + Sorbitol 3g; S3P2= Selulosa 5g + Sorbitol 4g; S3P3= Selulosa 5g + Sorbitol 5g

Gambar 1. Grafik pengaruh interaksi selulosa dan sorbitol terhadap sifat fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung

Pada Gambar 1 dapat dilihat elongasi tertinggi diperoleh dari sampel dengan penambahan sorbitol sebanyak 4 g. Sorbitol berperan sebagai pemberi sifat elastis pada plastik *biodegradable*, sehingga semakin banyak sorbitol yang ditambahkan maka nilai elongasi akan semakin meningkat, sementara kekuatan tarik semakin menurun (Afdal *et al.*, 2022). Penambahan selulosa 3 g dan sorbitol 4 g menunjukkan nilai elongasi tertinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Kuswariyah *et al.* (2023) yang menyatakan persen elongasi akan menurun apabila kandungan selulosa didalamnya tinggi.

Sifat Fisik

Permeabilitas Uap Air

Permeabilitas uap air ditujukan untuk melihat laju perpindahan uap air dari satu sisi ke sisi lainnya pada bioplastik. Hasil analisis permeabilitas uap air pada bioplastik berbasis pati talas Belitung dengan penambahan selulosa kulit nenas dan sorbitol menunjukkan tidak berbeda nyata (Tabel 1). Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah selulosa dan sorbitol yang ditambahkan terlalu sedikit dan rentang

jumlah antar perlakuan juga terlampau kecil, sehingga tidak menyebabkan pengaruh nyata terhadap permeabilitas uap air bioplastik yang dihasilkan. Bioplastik berbahan dasar pati talas Belitung dengan selulosa kulit nanas dan sorbitol membentuk rantai polimer yang saling mengikat, sehingga menghasilkan interaksi antar molekul yang kuat sebagai penghalang transit uap air melalui matriks, serta *film* dengan penambahan sorbitol memiliki jaringan yang rapat dan lebih stabil (Farhan & Hani, 2017).

Nilai permeabilitas uap air berkisar antar 0,0027-0,0094 g/m²/hari, nilai ini berada di bawah standar (JIS, 2019) yakni 7 g/m²/hari. Nilai permeabilitas uap air yang rendah menunjukkan bahwa kinerja film sebagai penghalang uap air dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, struktur film, dan karakteristik biopolimer (Lounis *et al.*, 2024). Penelitian Mohammed *et al.* (2023) menyatakan bioplastik berbahan dasar Ca-alginat dan pati dengan pemlastis PEG 200 dan sorbitol yang bersifat hidrofilik menghasilkan bioplastik dengan kelembaban yang rendah. Hal ini selaras dengan penelitian Zamanidehyaghoubi *et al.* (2025) dimana pemlastis sorbitol 10 % (b/b) dengan konsentrasi tertinggi yang ditambahkan berinteraksi ke dalam film berbahan dasar pullulan dapat mengurangi ikatan hidrogen internal dan menyebabkan permeabilitas uap air meningkat.

Opasitas

Pengukuran opasitas bertujuan untuk mengetahui seberapa buram suatu *film* ketika dilewati cahaya. Nilai opasitas yang rendah menunjukkan bioplastik lebih transparan, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan bioplastik lebih buram. Nilai

opasitas bioplastik berbahan pati talas Belitung dengan penambahan kulit nanas dan sorbitol berkisar antara 5,85-8,91 abs/mm (Tabel 1).

Keberadaan selulosa membentuk partikel tersuspensi dalam film, sehingga memicu penyebaran cahaya, yang pada akhirnya meningkatkan opasitas suatu materi. Hal ini sejalan dengan penelitian Yun *et al.* (2023) yakni penambahan serat jeruk pada bioplastik berbahan dasar pati menghasilkan peningkatan kepadatan partikel dalam matriks dan meningkatkan semburan hamburan cahaya (opasitas).

Opasitas berperan sebagai proses filter cahaya sebelum mengenai produk. Nilai opasitas yang dihasilkan menunjukkan potensi sebagai penghalang cahaya yang baik, misalnya pada kemasan makanan yang rentan terhadap kerusakan sinar UV.

Kelarutan

Analisis kelarutan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar bagian dari film dapat larut dalam air pada rentang waktu tertentu. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa penambahan *filler* selulosa kulit nanas dan sorbitol tidak berpengaruh nyata terhadap kelarutan bioplastik (Tabel 1). Hal ini dapat disebabkan oleh jumlah selulosa dan sorbitol yang ditambahkan terlalu sedikit dan rentang jumlah antar perlakuan juga terlampau kecil, sehingga tidak menyebabkan pengaruh nyata terhadap kelarutan bioplastik yang dihasilkan. Nilai kelarutan yang dihasilkan berkisar antara 0,0012-0,0025 %, dan hanya perlakuan penambahan selulosa dan sorbitol sebanyak 3 g (0,25 %) yang sesuai dengan penelitian Chisenga *et al.* (2020) yakni 0,24 hingga 0,35 %.

Tabel 1.

Pengaruh interaksi selulosa dan sorbitol terhadap sifat fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung

Selulosa (g)	Sorbitol (g)	Permeabilitas Uap Air (g/m ² /hari)	Opasitas (abs/mm)	Kelarutan (%)	Ketebalan (mm)	Biodegradabilitas (%)
0	3	0,0094±0,0094	58509±1,13921	0,0024±0,000872	0,46±0,064 ^a	68,67±6,80
	3	0,0047±0,0047	6,6246±0,52392	0,0017±0,000227	0,56±0,056 ^{ab}	67,42±7,25
3	4	0,0045±0,0045	6,1108±0,88165	0,0015±0,000373	0,58±0,094 ^a	76,04±6,56
	5	0,0044±0,0044	7,8199±0,98174	0,0015±0,000336	0,50±0,044 ^{ab}	64,38±1,70
	3	0,0041±0,0041	7,3979±0,54866	0,0012±0,000185	0,52±0,056 ^{ab}	79,64±6,74
4	4	0,0040±0,0040	7,2256±0,23819	0,0025±0,0007	0,55±0,029 ^{ab}	61,72±5,35
	5	0,0037±0,0037	8,0863±1,46415	0,0015±0,000439	0,46±0,090 ^{ab}	73,50±16,84
	3	0,0037±0,0037	8,9059±1,34389	0,0016±0,000512	0,47±0,098 ^{ab}	69,11±1,75
5	4	0,0037±0,0037	7,9872±1,50577	0,0018±0,000388	0,52±0,114 ^{ab}	71,43±5,15
	5	0,0027±0,0027	8,5623±1,01689	0,0013±0,000161	0,46±0,109 ^b	90,58±5,99

Keterangan: Data (*mean*±SD) diperoleh dari tiga ulangan. Data dianalisis dengan analisis ragam. Data pada kolom yang sama diikuti dengan huruf berbeda menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$, uji Tukey).

Selulosa dengan gugus hidroksil memungkinkan terbentuknya banyak ikatan hidrogen. Hidayati *et al.* (2015) menyatakan selulosa menyebabkan kekakuan dan gaya antar rantai yang tinggi sehingga tidak larut dalam air. Penambahan selulosa pada bioplastik membuat bioplastik jadi lebih sulit larut, karena selulosa memiliki sifat yang tidak mudah mengikat air dan berbanding terbalik dengan pati yang bersifat menarik air (Mahmud *et al.*, 2025). Dalam penelitian Putri *et al.* (2024) penambahan selulosa mengurangi sifat hidrofilik dari *film* bioplastik dan penggunaan pemlastis yakni gliserol dapat meningkatkan hidrofilisitas. Penelitian lain oleh Mahmud *et al.* (2025) menjelaskan bahwa nilai kelarutan yang tinggi berbanding positif dengan berat sorbitol yang ditambahkan.

Ketebalan

Berdasarkan hasil analisis statistik terhadap ketebalan menunjukkan terdapat perbedaan nyata antar perlakuan bioplastik berbahan dasar pati talas belitung dengan penambahan selulosa kulit nanas dan pemlastis sorbitol (Tabel 1). Kontrol tanpa penambahan selulosa memiliki ketebalan terendah yakni 0,46 mm, sedangkan ketebalan tertinggi terdapat pada bioplastik dengan penambahan selulosa 3 g dan sorbitol 4 g yakni 0,52 mm. Seluruh sampel bioplastik yang dihasilkan belum memenuhi standar JIS (2019), yaitu maksimal 0,25 mm.

Ketebalan bioplastik merupakan salah satu karakteristik fisik yang dapat memengaruhi sifat mekanik dan ketahanannya terhadap kelembaban. Hal ini sangat penting dalam aplikasi kemasan (Pokhrel *et al.*, 2022) karena memberikan perlindungan pada produk. Ketebalan rata-rata bioplastik berbahan dasar pati talas Belitung dengan selulosa kulit nanas dan pemlastis sorbitol berkisar antara 0,46-0,58 mm, belum memenuhi standar JIS (2019) dan bersifat kaku. Untuk mencapai kekuatan dan kelenturan yang dibutuhkan pada produk seperti kemasan makanan, diperlukan proses optimasi lebih lanjut guna menyeimbangkan kedua sifat tersebut.

Penambahan massa padatan seperti selulosa pada komposisi bioplastik dapat meningkatkan ketebalan bioplastik. Lapisan bioplastik menjadi lebih padat dan kompak karena volume padatan yang lebih tinggi. Sampel dengan penambahan selulosa 3 g dan sorbitol 4 menghasilkan ketebalan paling tinggi yakni 0,58 mm, ini dapat terjadi karena proses penuangan larutan ke dalam cetakan yang tidak merata, serta larutan yang terlalu kental dan sulit untuk diratakan dapat menumpuk di beberapa bagian, sehingga bioplastik yang dihasilkan terlalu tebal.

Biodegradabilitas

Hasil biodegradasi selama 14 hari menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami penurunan bobot secara progresif, mengindikasikan bahwa semua bioplastik memiliki kemampuan biodegradasi (Tabel 1). Hal ini sesuai dengan karakteristik pati talas Belitung yang dapat dengan mudah diurai oleh mikroorganisme di lingkungan. Hal ini sejalan dengan penelitian Udjiana *et al.* (2019) pada pembuatan plastik *biodegradable* dari umbi talas Belitung dengan *filler* kitosan dan sorbitol 40 % dari berat pati yang digunakan. Penelitian tersebut menghasilkan persentase biodegradasi paling tinggi 17,39 % dengan metode *soil burial test* selama 2 hari. Semakin tinggi konsentrasi sorbitol yang ditambahkan maka nilai biodegradabilitas semakin tinggi. Huwaidi & Supriyo (2022) menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi sorbitol mempercepat laju biodegradasi, ini dikarenakan sorbitol mudah menyerap air sehingga menyebabkan aktivitas biologis seperti pertumbuhan mikroba atau jamur pada bioplastik. Jika dibandingkan dengan standar BSN (2022) nilai biodegradasi dari bioplastik pada semua sampel dan kontrol sudah memenuhi standar yakni 60 %. Kemampuan film untuk terbiodegradasi dapat dipengaruhi berbagai faktor seperti sifat bahan, kelembaban, suhu, dan pH, serta faktor biologis seperti keberadaan mikroorganisme (Humairi *et al.*, 2023).

Warna

Hasil uji pada atribut L^* , a^* , b^* pada setiap sampel tidak menunjukkan perbedaan nyata (Tabel 2). Hal ini dapat terjadi karena jumlah selulosa dan sorbitol terlalu sedikit, selain itu rentang penambahan selulosa dan sorbitol antar perlakuan juga terlalu berdekatan. Warna yang seragam ini dihasilkan dari pati talas Belitung sebagai bahan baku utama. Pati talas Belitung memiliki warna keabu-abuan apabila tergelatinisasi. Selulosa memiliki warna putih keabu-abuan, apabila ditambahkan ke dalam pati yang tergelatinisasi, warna selulosa tidak begitu memengaruhi warna dari pati. Sama halnya dengan sorbitol yang memiliki tekstur sedikit kental dan tidak berwarna, pada saat ditambahkan ke dalam larutan pati tidak memengaruhi warna bioplastik yang dihasilkan. Variasi warna menunjukkan bahwa hasil bioplastik masih memberikan tampilan visual yang konsisten, mendekati warna bahan aslinya, yakni pati talas Belitung yang cenderung keruh-bening (Gabriel *et al.*, 2024).

Tabel 2.

Pengaruh interaksi selulosa dan sorbitol pada karakteristik warna bioplastik berbasis pati talas Belitung

Selulosa (g)	Sorbitol (g)	L^*	a^*	b^*	ΔE	Kode warna	Representasi Warna
0	3	84,42±1,03	0,90±0,10	-2,4±0,62	32,69±0,98	#d3d2d8	
	3	84,64±0,85	0,98±0,04	-2,4±0,53	32,81±0,81	#d4d3d9	
3	4	84,14±1,02	0,81±0,13	-2,4±0,46	32,52±0,87	#d2d1d8	
	5	83,17±1,27	0,79±0,22	-1,6±0,44	31,43±0,96	#d0cfd3	
	3	83,41±0,23	0,74±0,03	-1,9±0,16	31,74±0,22	#d0cfd4	
4	4	83,91±0,94	0,79±0,14	-2,2±0,41	32,25±0,79	#d1d1d6	
	5	83,71±0,31	0,82±0,05	-2,1±0,31	32,04±0,41	#d1d0d6	
	3	83,71±0,20	0,90±0,12	-1,8±0,04	31,84±0,10	#d1d0d5	
5	4	84,08±0,11	0,88±0,05	-2,2±0,16	32,33±0,17	#d2d1d7	
	5	83,80±0,39	0,89±0,05	-2,0±0,28	32,06±0,36	#d1d0d6	

Keterangan: Data warna didapatkan dari rata-rata L^* , a^* , b^* pada alat *colorimeter* yang dilanjutkan dengan menentukan representasi warna menggunakan <https://www.colorhexa.com/>

Warna merupakan salah satu karakteristik fisik yang mudah diamati secara langsung dan biasanya dilakukan dengan menggunakan indera penglihatan (mata) atau dengan bantuan alat seperti *colorimeter*. Perbedaan warna dapat dilihat berdasarkan nilai ΔE , sehingga diketahui apakah ada perbedaan atau tidak antar perlakuan. Dapat dilihat pada Tabel 3 nilai ΔE tidak menunjukkan perbedaan nyata pada semua perlakuan. Nilai L^* yang tinggi menunjukkan bahwa bioplastik memiliki tingkat kecerahan yang tinggi (Orizano-Ponce *et al.*, 2025). Nilai a^* pada semua sampel menghasilkan nilai kurang dari satu, yang artinya bioplastik memiliki warna sedikit condong ke arah merah namun hampir netral dan tampak visualnya keabu-abuan. Nilai b^* pada semua sampel menghasilkan nilai negatif atau warna cenderung kebiruan. Arifin *et al.* (2023) menyebutkan bahwa warna film dapat memengaruhi daya tarik visual dan kesesuaian untuk pengaplikasiannya. Ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi warna dari bioplastik, yakni jenis bioplastik (berbasis biopolimer alami dan sintesis), konsentrasi bahan baku yang dipakai, kondisi saat proses pembuatan, dan koordinat kromatik serta jenis pati yang digunakan (Daeng & Base, 2021).

KESIMPULAN

Penambahan selulosa kulit nanas dan pemlastis sorbitol pada bioplastik berbahan dasar pati talas Belitung berpengaruh signifikan terhadap ketebalan, namun tidak berpengaruh terhadap

permeabilitas uap air, opasitas, kelarutan, dan biodegradasi. Warna bioplastik yang dihasilkan cenderung biru keabu-abuan dengan kuat tarik memenuhi standar BSN (2022) dan JIS (2019) (4,322–10,110 N/mm²), dan elongasi memenuhi BSN (2022) (17,5–40 %) namun belum sesuai standar JIS (2019). Permeabilitas uap air bioplastik lebih rendah dari standar JIS (2019) (0,0027–0,0094 g/m²/hari). Nilai Opasitas bioplastik yang dihasilkan berkisar antara 5,85–8,91 abs/mm menunjukkan potensi sebagai pembungkus bahan pangan yang sensitif terhadap sinar UV. Penambahan selulosa dan sorbitol menghasilkan bioplastik dengan kelarutan yang rendah, yaitu 0,0012–0,0025 %. Biodegradasi bioplastik menunjukkan penurunan berat 61,7–90,6 % setelah 14 hari, sesuai standar BSN (2022). Meskipun ketebalan dan permeabilitas uap air belum memenuhi standar, bioplastik ini potensial untuk dikembangkan dengan biaya produksi rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afdal, K., Herawati, N., & Hasri, H. (2022). Effect of sorbitol concentrations as plasticizer on biodegradable plastic making from corncob. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia*, 23(1), 67.
- Akmala, A., & Supriyo, E. (2020). Optimasi konsentrasi selulosa pada pembuatan biodegradable foam dari selulosa dan tepung singkong. *Pentana: Jurnal Penelitian Terapan*, 1(1), 27–40.

- <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/penta/article/view/11597>
- American Society for Testing and Materials. (1995). ASTM E 96-95. Standard Test Method for Water Vapor Transmissions for Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials. (2002). ASTM D 882-02. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Andahera, C., Sholikhah, I., Islamiati, D.A., & Pusfitasari, M.D. (2019). Pengaruh penambahan jenis dan konsentrasi plasticizer terhadap kualitas bioplastik berbasis selulosa dari tandan kosong kelapa sawit. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2(2), 46. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v2i2.36901>
- Arifin, H.R., Mauliani, Z.A., Harlina, P.W., Subroto, E., Nissa, R. C., & Nawaz, A. (2023). Characteristics of nanocomposite film based on elephant foot-yam starch (*Amorphophallus paeoniifolius*) with different nanocrystalline cellulose concentration. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 3512–3530. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2286897>
- Badan Standardisasi Nasional. (2022). Kategori Produk, Kemasan Produk dan Wadah Bioplastik yang dapat Dikomposkan (SNI 7188-7:2022). *Badan Standardisasi Nasional*, Jakarta.
- Chisenga, S.M., Tolesa, G.N., & Workneh, T.S. (2020). Biodegradable food packaging materials and prospects of the fourth industrial revolution for tomato fruit and product handling. *International Journal of Food Science*, 8879101. <https://doi.org/10.1155/2020/8879101>
- Choubey, V., Fatma, E., Smriti, A., Suman, R., & Rajak, S.K. (2023). Testing and evaluation of potato starch based bio plastic. *The Pharma Innovation*, 12(11), 05–11. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.i11a.23947>
- Daeng Pine, A.T., & Base, N.H. (2021). Uji karakteristik dan sifat mekanik plastik biodegradable dari batang pisang (*Musa paradisiaca*) dengan variasi konsentrasi selulosa. *Media Farmasi*, 17(2), 116. <https://doi.org/10.32382/mf.v17i2.2271>
- Danni, E.R., Hasan, A., & Junaidi, R. (2023). Pengaruh penambahan *filler* dari selulosa tongkol jagung dan zink oksida pada plastik *biodegradable*. *Jurnal Ilmiah Sain Dan Teknologi*, 1(3), 92–100.
- Das, S., & Kalyani, M.I. (2022). From trash to treasure: Review on upcycling of fruit and vegetable wastes into starch based bioplastics. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 53(7), 713–727. <https://doi.org/10.1080/10826068.2022.2158470>
- Dewi, A.P., Mardhiyana, A., Manfaati, R., & Leoanggraini, U. (2023). The effect of additional chitosan and cellulose on the performance of bioplastic from *Manihot glaziovii* starch. *Fluida*, 16(1), 36–42. <https://doi.org/10.35313/fluida.v16i1.4394>
- Dinda, D.J., Zulferiyenni, Nurainy, F., & Nawansih, O. (2024). Karakteristik *biodegradable film* berbasis selulosa bungkil inti sawit (BIS) dengan variasi konsentrasi *plasticizer* gliserol dan *filler* glukomanan. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 3(2), 209–222. <https://doi.org/10.23960/jab.v3i2.9298>
- Elisusanti, Illing, I., & Alam, M.N. (2019). Pembuatan bioplastik berbahan dasar pati kulit pisang kepok/selulosa serbuk kayu gergaji. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 1(1), 14–19.
- Farhan, A., & Hani, N.M. (2017). Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloids*, 64, 48–58. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.034>
- Gabriel, A.A., Rahmawati, A.Y., Taradipa, Y.S., Enomae, T., Muhammad Nur Fauzan, R.M., Thangunpai, K., Indramawarni, S., Halim, A., & Ihsanpuro, S.I. (2024). *Canna edulis* Ker. starch-based biodegradable plastic materials: Mechanical and morphological properties. *Discover Materials*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s43939-024-00128-z>
- Hidayati, S., Zuidar, A.S., & Ardiani, A. (2015). Aplikasi sorbitol pada produksi *biodegradable film* dari Nata De Cassava. *Reaktor*, 15(3), 195. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.3.195-203>
- Humairi, A.Y., Aji, H.A.F., & Suharti, P.H. (2023). Peningkatan sifat fisik biodegradable film dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata*) dengan variasi penambahan filler dari bahan alam. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(1), 20–28.

- <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i1.513>
- Huwaiddi, A.F., & Supriyo, E. (2022). Pembuatan plastik biodegradable pati jagung terplastisasi sorbitol dengan pengisi selulosa dari ampas tebu. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), 1–5. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.62552>
- Imron H, & Gancang S. (2024). Effect of glycerol and sorbitol plasticizers on bioplastic characteristics of mbote sweet potato starch. *Eksakta Journal of Science and Data Analysis*, 5(1), 50–56. DOI : 10.20885/eksakta.vol5.iss1.art6
- Izzati, A.R.N., Madihah, A.M.H., Nurazzi, N.M., & Haafiz, M.K.M. (2024). The effect of cellulose loadings on the properties of tapioca/banana peels starch bioplastics. *Research Square*, 1–22. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4210538/v1>
- Japanese Industrial Standard. (2019). General Rules of Plastic Films for Food Packaging. JIS Z 1707. *Japanese Standards Association, Japan*.
- Kuswariyah, R., Sitorus, B., Adhitiyawarman, & Antonius. (2023). Mikroselulosa dari serat kulit pinang sebagai bahan pengisi pada bioplastik. *Jurnal Ilmu Dasar*, 24(1), 91–100.
- Lailyningtyas, D.I., Lutfi, M., & Ahmad, A.M. (2020). Uji mekanik bioplastik berbahan pati umbi ganyong (*Canna edulis*) dengan variasi selulosa asetat dan sorbitol. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(1), 91–100. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.008.01.09>
- Lounis, F.M., Benhacine, F., & Hadj-Hamou, A.S. (2024). Improving water barrier properties of starch based bioplastics by lignocellulosic biomass addition: Synthesis, characterization and antibacterial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137823>
- Mahmud, R.U., Darda, M.A., Hossain, M.T., Habib, M.A., Nag, R.K., & Sarker, M.P. (2025). Fabrication of waste cotton reinforced corn and potato starch sustainable bioplastics for eco-friendly packaging material. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 11, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2025.100286>
- Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A.F. (2018). Bioplastik pati umbi talas melalui proses melt intercalation. *Jurnal Distilasi*, 2(2), 53. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1204>
- Mohammed, A., Gaduan, A., Chaitram, P., Pooran, A., Lee, K.Y., & Ward, K. (2023). Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. *Food Hydrocolloids*, 135, 108192. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108192>
- Mulyana, E., Purnamasari, I., & Yerizam, M. (2024). Plastik biodegradable dari selulosa tongkol jagung menggunakan metode solution casting. *Jurnal Daur Lingkungan*, 7(2), 11–16. <https://doi.org/10.33087/daurling.v7i2.308>
- Orizano-Ponce, E., Santillan, G., Chamorro-Gómez, R.E., Villanueva-Tiburcio, J.E., Estacio-Laguna, R., Cueto-Rosales, C.R., Palma-Lozano, D., Cámara, F., & Cano, D. (2025). Effect of ultrasound on the physical, morphological, and mechanical properties of bioplastic obtained from lucuma seed starch (*Pouteria lucuma*). *Applied Food Research*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100990>
- Pokhrel, S., Limbu, S.K., & Subedi, S. (2022). Jackfruit starch based blends with Polyvinylpyrrolidone: Preparation, structural characterization, and biodegradable properties. *Macromolecular Symposia*, 403(1), 1–11. <https://doi.org/10.1002/masy.202200063>
- Putri, F.A., Rianjanu, A., & Sipahutar, W.S. (2024). Cellulose impact on bioplastic performance: A study on mechanical strength, physical properties, and degradation of water hyacinth and kepok banana peel-derived materials. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 12(02), 87–96. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v12i02.407>
- Putri, R.R.A., Hartiati, A., & Harsojuwono, B.A. (2021). Pengaruh Jenis dan konsentrasi pemlastis terhadap karakteristik komposit bioplastik pati ubi talas belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) - kitosan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 9(3), 323. <https://doi.org/10.24843/jrma.2021.v09.i03.p06>
- Rosadi, E., Ridlo, A., & Sunaryo. (2024). Penambahan plasticizer sorbitol terhadap karakteristik bioplastik dari limbah dekaragenan *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. C. Silva, 1966. *Journal of Marine Research*, 13(4), 595–606. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i4.40654>
- Sani, Febrianti, A.N., Putri, D.M.N., & Astuti, D.H. (2023). Preparation of bioplastics from pineapple peel nata and rice washing water. *Proceeding of 4th International Conference*

- Eco-Innovation in Science, Engineering, and Technology*, 2023, 34–40.
<https://doi.org/10.11594/nstp.2023.3606>
- Sriyana, H.Y., Rahayu, L.H., & Febriana, M.E. (2023). Bioplastik dari limbah kulit buah nanas dengan modifikasi gliserol dan kitosan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(1), 40. <https://doi.org/10.31942/inteka.v18i1.8094>
- Sulaiman, N.F.P., Purwadana, A., Wahyudi, B., & Fithriyah, N.H. (2022). Studi literatur pemanfaatan selulosa asetat limbah kulit nanas sebagai bahan baku pembuatan membran untuk desalinasi. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi, November 2022*, 1–8. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/14681/0>
- Sultan, A., Sultan, H., Shahzad, W., Kareem, A., Liaqat, A., Ashraf, Z., Shahid, A., Rauf, A., Saeed, S., Mehmood, T., Zahra, M., Soto-Bubert, A., & Acevedo, R. (2024). Comparative analysis of physical and mechanical properties of starch based bioplastic derived from the pulp and peel of potatoes. *Journal of the Indian Chemical Society*, 101(10). <https://doi.org/10.1016/j.jics.2024.101301>
- Sumiati, T., Yuningtyas, S., & Haloho, L. E. B. (2023). Delignifikasi lignoselulosa daun nanas (*Ananas comosus* (L) Merr) untuk produksi alfa selulosa. *Pharmamedica Journal*, 8(2), 130–137.
- Sunardi, S., Trianda, N.F., & Irawati, U. (2020). Pengaruh nanoselulosa dari pelepah nipah sebagai *filler* terhadap sifat bioplastik polivinil alkohol. *Justek: Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 69. <https://doi.org/10.31764/justek.v3i2.3704>
- Udjiana, S.S., Hadianoro, S., Syarwani, M., & Suharti, P.H. (2019). Pembuatan dan karakterisasi plastik *biodegradable* dari umbi talas (*Xanthosoma sagittifolium*) dengan penambahan filler kitosan dan kalsium Silikat. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 3(1), 10–19. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i1.80>
- Wang, X., Guo, C., Hao, W., Ullah, N., Chen, L., Li, Z., & Feng, X. (2018). Development and characterization of agar-based edible films reinforced with nano-bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118, 722–730. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.089>
- Wrasiati, L.P., Studi, P., Industri, T., Pertanian, F. T., Udayana, U., & Jimbaran, B. (2022). Isolation of cellulose from coconut fiber (*Cocos nucifera* L.) at variation of temperature and time of bleaching process with peracetic acid. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 10(3), 248–258.
- Yaqein, A., Humairi, H., Fianto, A.Y.A., Aji, P.H., Suharti, M.K., & Pratiwi. (2023). Peningkatan sifat fisik *biodegradable film* dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata*) dengan variasi penambahan filler dari bahan alam. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(1), 20-28. <https://www.semanticscholar.org/paper/2fc1194049665d82910afb9f9fbba48347b3819b>
- Yun, D., Wang, Z., Li, C., Chen, D., & Liu, J. (2023). Antioxidant and antimicrobial packaging films developed based on the peel powder of different citrus fruits: A comparative study. *Food Bioscience*, 51, 102319. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102319>
- Zamanidehyaghoubi, G., Shahidi, F., Dovom, M.R. E., Mohebbi, M., & Roshanak, S. (2025). Investigating the effect of three different types and concentrations of plasticizers on physico-mechanical properties of pullulan food-packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 51, 101590. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2025.101590>

Copyright © The Author(s)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)