



Karakteristik Bioplastik Berbasis Pati Talas Belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) dengan Penguat Selulosa Kulit Nanas (*Ananas comosus* L.) dan Pemlastis Gliserol

Characteristics of Bioplastics Based on Belitung Taro Starch (*Xanthosoma sagittifolium*) Reinforced with Pineapple Peel Cellulose (*Ananas comosus* L.) and Glycerol Plasticizer

Yos Andreas Saroinsong¹, Sukmiyati Agustin^{*,1}

¹ Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: sukmiyati.agustin@faperta.unmul.ac.id



Abstrak. Bioplastik berbahan dasar sumber daya terbarukan semakin banyak dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap plastik berbasis petroleum. Pati talas Belitung memiliki potensi sebagai bahan dasar bioplastik, namun diperlukan penguatan melalui penambahan filler dan pemlastis untuk meningkatkan sifat fungsionalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh selulosa kulit nanas dan gliserol terhadap karakteristik bioplastik, meliputi permeabilitas uap air, opasitas, kelarutan, ketebalan, dan biodegradasi. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap faktorial 3×3 dengan dua faktor, yaitu selulosa (4, 5, 6 g) dan gliserol (3, 4, 5 g). Data dianalisis menggunakan ANOVA pada taraf α 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan selulosa dan gliserol tidak memberikan pengaruh nyata pada seluruh parameter. Nilai permeabilitas uap air berkisar 0,0010–0,0816 g/m²/hari, opasitas 4,63–7,26 abs/mm, kelarutan 0,0020–0,0037%, ketebalan 50,8–78,1 μ m, dan biodegradasi 50–78% selama 14 hari. Walaupun tidak berbeda nyata, bioplastik yang dihasilkan memenuhi beberapa standar dan menunjukkan potensi sebagai bahan kemasan ramah lingkungan.

Kata kunci: bioplastik, pati talas Belitung, selulosa, gliserol, biodegradasi.

Abstract. Bioplastics derived from renewable materials have gained increasing attention as environmentally friendly alternatives to petroleum-based plastics. Belitung taro starch presents potential as a bioplastic base; however, its functional properties require reinforcement using fillers and plasticisers. This study aimed to determine the effects of pineapple peel cellulose and glycerol on the characteristics of bioplastics, including water vapour permeability (WVP), opacity, solubility, thickness, and biodegradability. A Completely Randomised Design (CRD) factorial 3×3 was applied using cellulose (4, 5, 6 g) and glycerol (3, 4, 5 g). Data were analysed using ANOVA at $\alpha = 5\%$. The results showed no significant effect of cellulose or glycerol on all parameters. WVP ranged from 0.0010 to 0.0816 g/m²/day, opacity 4.63 to 7.26 abs/mm, solubility 0.0020 to 0.0037%, thickness 50.8 to 78.1 μ m, and biodegradation 50 to 78% within 14 days. Although no significant differences were found, the films met several quality requirements and demonstrated potential for eco-friendly packaging applications.

Keywords: bioplastic, Belitung taro starch, cellulose, glycerol, biodegradation.

1. Pendahuluan

Peningkatan konsumsi plastik konvensional berbahan dasar petroleum telah menimbulkan persoalan lingkungan yang serius karena sifatnya yang sulit terurai secara alami (Pooja *et al.*, 2023). Limbah plastik membutuhkan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk terdegradasi sehingga menimbulkan akumulasi pencemaran pada tanah, perairan, dan rantai makanan. Kondisi ini mendorong pengembangan material alternatif yang bersifat *biodegradable*, ramah lingkungan, dan berbasis sumber daya terbarukan. Salah satu material yang berkembang pesat adalah bioplastik berbasis pati, yang memiliki kemampuan terdegradasi lebih cepat serta karakteristik mekanik yang dapat ditingkatkan melalui modifikasi atau penambahan *filler* (Falua *et al.*, 2022; Santhosh *et al.*, 2024).

Pati merupakan biopolimer alami yang banyak dimanfaatkan sebagai matriks bioplastik karena ketersediaannya melimpah, harga relatif murah, serta kemampuan membentuk film yang baik (Nawaz *et al.*, 2020). Talas belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) adalah salah satu sumber pati lokal yang potensial. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pati talas memiliki kandungan amilosa dan amilopektin yang memungkinkan pembentukan film dengan karakteristik fisik yang kompetitif (Windyasmara *et al.*, 2022). Talas Belitung berpotensi digunakan sebagai bahan dasar bioplastik karena kandungan amilosa dan amilopektinnya mendukung proses gelatinisasi serta pembentukan film dengan karakteristik fisik yang baik (Aritonang *et al.*, 2020; Falua *et al.*, 2022).

Namun demikian, bioplastik berbasis pati umumnya memiliki kelemahan seperti sifat mekanik yang rendah, mudah menyerap air, serta kurang stabil secara struktur (Aritonang *et al.*, 2021). Untuk meningkatkan performanya, diperlukan penambahan bahan penguat (*filler*) yang kaya akan selulosa. Kulit nanas merupakan limbah agroindustri yang mengandung selulosa hingga 66,3% (Aprilyanti, 2018). Temuan sebelumnya menunjukkan bahwa kombinasi pati dan selulosa mampu memperbaiki struktur dan meningkatkan performa film secara signifikan (Sunardi *et al.*, 2020; Yu *et al.*, 2017). Selulosa dari kulit nanas telah banyak dikembangkan sebagai *filler* karena dapat meningkatkan kekuatan mekanik, menurunkan kelarutan, serta memperbaiki struktur internal film (Agustin & Abdassah, 2021; Sumiati *et al.*, 2023). Penambahan selulosa dalam jumlah tertentu dapat memperkuat matriks melalui pembentukan ikatan hidrogen dengan pati, tetapi konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aglomerasi, menurunkan homogenitas dispersi, dan melemahkan struktur film (Sunardi *et al.*, 2020; Boey *et al.*, 2022; Putro *et al.*, 2023). Selain memperkuat matriks, pemanfaatan limbah kulit nanas mendukung konsep ekonomi sirkular dan pengurangan limbah organik (Putro *et al.*, 2023).

Selain *filler*, penggunaan pemlastis seperti gliserol diperlukan untuk meningkatkan fleksibilitas film. Gliserol bekerja dengan meningkatkan jarak antar rantai polimer sehingga film

menjadi lebih elastis dan tidak rapuh (Rabek *et al.*, 2014; Tarique *et al.*, 2021). Namun, penambahan gliserol juga dapat mempengaruhi sifat lain seperti permeabilitas air, ketebalan, dan kelarutan film (Nasir & Othman, 2021; Wang *et al.*, 2022). Oleh karena itu, formulasi antara pati, *filler* selulosa, dan gliserol harus diatur untuk menghasilkan bioplastik dengan karakteristik optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kombinasi variasi selulosa kulit nanas dan gliserol terhadap karakteristik bioplastik berbasis pati talas Belitung. Kombinasi bahan tersebut diharapkan mampu menghasilkan bioplastik dengan karakteristik yang mendekati bioplastik komersial.

2. Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah pati talas Belitung (*Xanthosoma sagittifolium*) yang diperoleh dari Toko Tepung Nusantara, kulit nanas yang diperoleh dari pedagang nanas di Jalan Sempaja, Samarinda, gliserol, NaOH, dan NaOCl yang diperoleh dari Toko Kimia, Samarinda, serta akuades.

Penelitian didesain dalam Rancangan Acak Lengkap dua faktor, yaitu jumlah penambahan selulosa kulit nanas (S) dan gliserol (P) dengan tiga ulangan. Faktor selulosa terdiri dari tiga taraf: S1 = 4 g, S2 = 5 g, dan S3 = 6 g, sedangkan faktor gliserol terdiri dari tiga taraf: P1 = 3 g, P2 = 4 g, dan P3 = 5 g. Pemilihan taraf ini didasarkan pada hasil penelitian pendahuluan yang menghasilkan lembaran bioplastik tanpa adanya aglomerasi. Selain itu, digunakan kontrol tanpa selulosa (0 g) dengan penambahan gliserol 4 g. Data hasil pengujian dianalisis menggunakan sidik ragam (ANOVA), dan apabila terdapat pengaruh nyata, maka dilanjutkan dengan uji *Tukey* pada taraf signifikansi 5%. Seluruh analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak *GraphPad Prism* versi 9.3.1.

Penelitian terdiri atas dua tahapan, yaitu isolasi selulosa dari kulit nanas (Sumiati *et al.*, 2023) dan pembuatan bioplastik berbasis pati talas Belitung (Hamzah *et al.*, 2024). Kulit nanas terlebih dahulu disortir, dicuci, dan dipotong berukuran $\pm 2 \times 2$ cm. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam, digiling, dan diayak menggunakan ayakan 80 mesh untuk mendapatkan tepung kulit nanas (Santhi *et al.*, 2022). Sebanyak 50 g tepung kulit nanas dimasukkan ke dalam larutan NaOH 40 g dalam 500 mL akuades, kemudian diautoklaf pada suhu 121°C selama 30 menit untuk proses delignifikasi. Residu disaring dan dicuci dengan akuades hingga pH netral (Sumiati *et al.*, 2023). Tahap *bleaching* dilakukan dengan merendam 50 g pulp delignifikasi dalam larutan NaOCl 5% sebanyak 105 g selama 12–20 menit, kemudian dicuci hingga filtrat tidak keruh dan pH-nya netral.

Pati talas Belitung sebanyak 6 g dicampurkan dengan selulosa sesuai taraf perlakuan dan dilarutkan dalam 80 mL akuades. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit

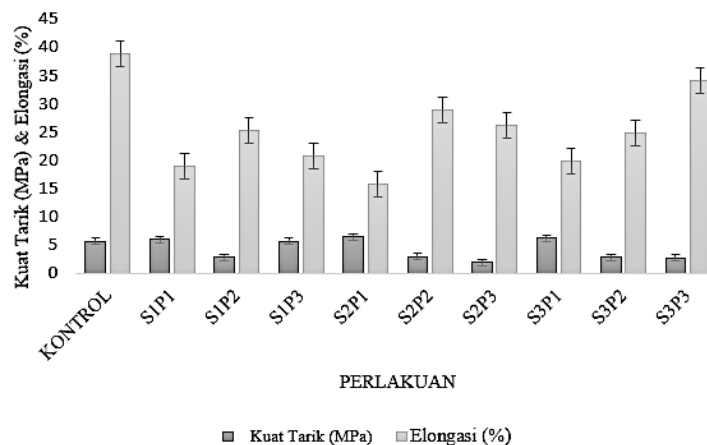
pada suhu ruang, kemudian dipanaskan hingga suhu 45°C. Gliserol ditambahkan sesuai taraf perlakuan dan diaduk selama 20 menit pada suhu 70–80°C hingga campuran tergelatinisasi sempurna. Larutan yang terbentuk dituangkan sebanyak 25 mL ke dalam cawan petri dan dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 8 jam untuk menghasilkan film bioplastik.

Karakteristik bioplastik dianalisis melalui beberapa pengujian. Kekuatan tarik dan elongasi diuji menggunakan *Universal Testing Machine* (ZWICK Z.05) sesuai metode ASTM D882 – 02 (ASTM, 2002). Permeabilitas uap air (*water vapor permeability/WVP*) diuji mengikuti metode ASTM E96 – 95 (ASTM, 1995). Opasitas dianalisis menggunakan spektrofotometer UV–VIS *Double Beam* (US-110 PC-InScienPro) pada panjang gelombang 600 nm sesuai metode Wang *et al.* (2018). Uji warna dan perbedaan total warna (ΔE) dilakukan menggunakan *Colorimeter* (FRU), dengan interpretasi perubahan warna mengacu pada klasifikasi Karma (2020). Kelarutan (*solubility*) diuji sesuai metode Sunardi *et al.* (2020). Ketebalan film diukur menggunakan mikrometer (*Tricle Brand*) pada lima titik acak sesuai prosedur Choubey *et al.* (2023). Biodegradabilitas diuji berdasarkan penurunan massa (Choubey *et al.*, 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Sifat Mekanik

Berdasarkan Gambar 1, nilai kuat tarik bioplastik berbasis pati talas Belitung berkisar antara 1,89–6,40 MPa, sedangkan nilai elongasi berada pada rentang 19,00 – 38,83% (Gambar 1). Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa interaksi antara penambahan selulosa kulit nanas dan gliserol tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kuat tarik maupun elongasi bioplastik. Oleh karena itu, interpretasi hasil dilakukan secara deskriptif berdasarkan kecenderungan nilai pada setiap kombinasi perlakuan, tanpa menyatakan adanya perbedaan yang signifikan antarperlakuan.



Keterangan: Kontrol= Selulosa 0 g + Gliserol 4 g; S1P1= Selulosa 4 g + Gliserol 3 g; S1P2= Selulosa 4 g + Gliserol 4 g; S1P3= Selulosa 4 g + Gliserol 5 g; S2P1= Selulosa 5 g + Gliserol 3 g; S2P2= Selulosa 5 g + Gliserol 4 g; S2P3= Selulosa 5 g + Gliserol 5 g; S3P1= Selulosa 6 g + Gliserol 3 g; S3P2= Selulosa 6 g + Gliserol 4 g; dan S3P3= Selulosa 6 g + Gliserol 5 g

Gambar 1. Grafik pengaruh interaksi selulosa dan gliserol terhadap sifat mekanik bioplastik berbasis pati talas Belitung

Standar kuat tarik minimum untuk plastik yang mudah terurai menurut [BSN \(2014\)](#) atau [JIS \(1975\)](#) berada pada kisaran 0,392 MPa hingga 13,7 MPa. Interaksi antara selulosa kulit nanas dan gliserol dalam matriks pati talas Belitung dapat dijelaskan melalui dua mekanisme yang saling berlawanan. Selulosa memiliki banyak gugus hidroksil yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan rantai pati, sehingga berpotensi meningkatkan kerapatan dan kekuatan matriks. Sebaliknya, gliserol berfungsi sebagai pemlastis yang masuk di antara rantai polimer, meningkatkan jarak antarrantai, dan memperbesar mobilitas molekul. Gliserol merupakan senyawa poliol yang memiliki tiga gugus hidroksil (-OH). Gugus hidroksil tersebut memungkinkan gliserol berinteraksi dengan pati dan selulosa melalui ikatan hidrogen. Pada kondisi gliserol rendah, efek penguatan selulosa cenderung lebih dominan sehingga kuat tarik relatif lebih tinggi. Namun, pada kadar gliserol yang lebih tinggi, efek plastisasi menjadi lebih kuat sehingga film menjadi lebih fleksibel, tetapi gaya kohesif antarrantai dapat berkurang. Fenomena tersebut menjelaskan bahwa peningkatan konsentrasi selulosa dan gliserol tidak selalu menghasilkan perubahan sifat mekanik secara linier ([Tarique et al., 2021](#); [Wang et al., 2022](#); [Boey et al., 2022](#); [Benitez et al., 2024](#)). Pola ini serupa dengan temuan ([Munfarida et al., 2026](#)) pada biodegradable film berbasis pati singkong dengan penambahan karboksimetil selulosa dan gliserol, yang menunjukkan bahwa efek penguatan selulosa jauh lebih dominan dalam menahan beban dan meningkatkan kekuatan tarik dibandingkan penurunan sifat mekanik yang disebabkan oleh plastisasi.

Sebaliknya, penurunan kuat tarik relatif terhadap kontrol menunjukkan dominasi efek plastisasi, yang meningkatkan mobilitas segmen rantai dan volume bebas antarmolekul, sehingga melemahkan gaya kohesif dalam matriks ([Rabek et al., 2014](#)). Fenomena penurunan kekuatan mekanik akibat *filler* juga dilaporkan oleh [Boey et al. \(2022\)](#), yang menemukan bahwa penambahan *filler* di atas ambang optimal dapat menurunkan kekuatan karena aglomerasi dan adhesi buruk. Hal ini konsisten dengan [Putra et al. \(2025\)](#) bahwa gliserol dapat meningkatkan fleksibilitas tetapi menurunkan gaya ikat antarrantai polimer sehingga kekuatan mekanik berkurang. Lebih lanjut, [Lestari et al. \(2025\)](#) melaporkan bahwa gliserol meningkatkan fleksibilitas karena mampu meningkatkan jarak antarrantai polimer.

3.2. Sifat Fisik

Parameter fisik bioplastik penting dianalisis karena berkaitan langsung dengan fungsi film sebagai bahan kemasan. Karakteristik fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung dengan variasi penambahan selulosa kulit nanas dan gliserol yang meliputi permeabilitas uap air, opasitas, kelarutan, ketebalan, dan biodegradabilitas disajikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Pengaruh interaksi selulosa dan gliserol terhadap sifat fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung.

Selulosa (g)	Gliserol (g)	Permeabilitas Uap Air (g/m ² /hari)	Opasitas (abs/mm)	Kelarutan (%)	Ketebalan (mm)	Biodegradabilitas (%)
0	3	0,0161±0,0261	4,6346 ± 0,6222	0,0034±0,0007	0,1277±0,0104	75,02±10,43 75,02±10,43
	3	0,0010±0,0002	6,4308 ± 1,1278	0,0020±0,0006	0,1425±0,0217	51,35±3,76
4	4	0,0386±0,0447	6,8416 ± 1,0280	0,0024±0,0008	0,1385±0,0228	77,25±14,79 77,25±14,79 73,33±7,17
	5	0,0816±0,0203	6,2216 ± 1,2774	0,0023±0,0002	0,1537±0,0277	73,33±7,17 73,33±7,17 73,33±7,17
	3	0,0615±0,0230	7,1644 ± 0,9114	0,0033±0,0003	0,1312±0,0146	54,51±5,87
5	4	0,0280±0,0395	7,2600 ± 1,4638	0,0032±0,0005	0,1386±0,0225	50,80±3,67
	5	0,0016±0,0003	6,0223 ± 0,4532	0,0035±0,0003	0,1592±0,0104	76,21±5,03
	3	0,0208±0,0333	6,1909 ± 0,4532	0,0022±0,0002	0,1557±0,0213	54,95±6,33
6	4	0,0195±0,0317	9,9532 ± 3,6289	0,0026±0,0010	0,1365±0,0059	78,15±18,33
	5	0,0011±0,0002	1,0801±0,5545	0,0037±0,0007	0,1371±0,0183	63,56±8,90

Keterangan: Data (*mean* ± SD) diperoleh dari 3 ulangan. Data dianalisis menggunakan ANOVA.

3.2.1. Permeabilitas Uap Air

Permeabilitas uap air menunjukkan kemampuan film dalam menahan atau melewatkan uap air, sehingga menjadi indikator penting untuk menilai sifat penghalang terhadap kelembapan. Nilai WVP seluruh sampel berada pada kisaran 0,0010–0,0816 g/m²/hari dan jauh lebih rendah dibanding standar [JIS \(1975\)](#), yaitu 7 g/m²/hari. Hal ini mengindikasikan bahwa semua formulasi memiliki kemampuan penghalang uap air yang baik.

Tidak adanya perbedaan signifikan antar perlakuan dapat dikaitkan dengan sifat dasar matriks pati yang setelah gelatinisasi membentuk jaringan hidrofilik yang cukup rapat. Selulosa yang ditambahkan pada konsentrasi rendah hanya berperan sebagai *filler* yang mengisi ruang antarmolekul tanpa mengubah densitas atau jalur difusi uap air secara bermakna. Selulosa memiliki gugus hidroksil yang mampu berinteraksi dengan pati melalui ikatan hidrogen, memperkuat jaringan polimer, dan membantu menurunkan permeabilitas uap air, sebagaimana juga dilaporkan oleh [Azizah et al. \(2023\)](#).

Gliserol sebagai pemlastis juga tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap permeabilitas. Hal ini sejalan dengan temuan [Kour et al. \(2024\)](#) bahwa permeabilitas film pati tetap rendah selama konsentrasi gliserol berada pada kategori moderat. Kenaikan WVP baru akan terlihat jika jumlah gliserol tinggi sehingga matriks menjadi lebih amorf dan longgar. Selain itu, temuan [Pasquier et al. \(2022\)](#) sejalan dengan penelitian ini, yaitu penambahan *filler* selulosa memperkecil ruang antar rantai polimer, meningkatkan densitas matriks, dan menurunkan permeabilitas uap air film biopolimer.

3.2.2. Opasitas

Opasitas menggambarkan kemampuan film dalam meneruskan atau menghamburkan cahaya, yang berhubungan dengan tampilan visual dan potensi perlindungan produk terhadap cahaya. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa penambahan selulosa kulit nanas dan pemlastis gliserol tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai opasitas bioplastik berbasis pati talas Belitung ($p > 0,05$). Nilai opasitas yang dihasilkan berkisar antara 4,6 hingga 7,2 abs/mm, yang menunjukkan bahwa bioplastik cenderung bersifat buram, namun tingkat keburamannya relatif seragam antarperlakuan. Konsistensi nilai opasitas ini mengindikasikan bahwa variasi selulosa dan gliserol yang diberikan belum cukup besar untuk menimbulkan perubahan signifikan pada karakteristik optik film.

Opasitas terkait erat dengan kemampuan film menghamburkan cahaya. Selulosa sebagai *filler* berserat dapat meningkatkan hamburan cahaya pada konsentrasi tinggi (Caixeiro *et al.*, 2017). Pada penelitian ini, konsentrasi selulosa yang rendah menyebabkan perubahan sifat optik yang tidak signifikan. Sementara itu, gliserol meningkatkan homogenitas dispersi sehingga mengurangi terbentuknya titik hamburan (Jessica *et al.*, 2024). Ketika dispersi komponen menjadi baik, titik-titik hamburan cahaya dapat diminimalkan sehingga perubahan optik antarformulasi menjadi tidak signifikan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mustariani *et al.* (2025), yang menjelaskan bahwa peningkatan opasitas lebih dominan terjadi pada film dengan konsentrasi *filler* tinggi serta distribusi komponen yang tidak homogen. Selain faktor *filler* dan pemlastis, sifat dasar pati talas Belitung juga berpotensi mempengaruhi tingkat opasitas film. Proses gelatinisasi pada suhu tinggi dapat menyebabkan degradasi parsial granula pati dan menghasilkan warna abu-abu yang lebih pekat, sehingga meningkatkan kekeruhan film. Fenomena serupa dilaporkan oleh (Dasumiati *et al.*, 2025) pada pembuatan bioplastik berbasis pati kulit pisang, intensitas pemanasan menyebabkan film cenderung lebih buram.

Hingga saat ini, belum terdapat standar tunggal yang secara spesifik menetapkan nilai opasitas terbaik untuk semua jenis bioplastik. Interpretasi opasitas sangat bergantung pada tujuan aplikasi kemasan. Film dengan opasitas rendah lebih sesuai untuk kemasan yang membutuhkan transparansi dan visibilitas produk, sedangkan film dengan opasitas lebih tinggi dapat bermanfaat untuk produk yang memerlukan perlindungan dari cahaya.

3.2.3. Kelarutan

Kelarutan menunjukkan ketahanan film terhadap air, sehingga penting untuk menentukan stabilitas film ketika kontak dengan lingkungan lembap. Nilai kelarutan seluruh sampel berada pada kisaran sangat rendah yaitu 0,0020–0,0037%, dan hasil analisis statistik menunjukkan bahwa variasi selulosa maupun gliserol tidak memberikan pengaruh nyata. Nilai ini jauh lebih rendah

daripada kelarutan *film biodegradable* menurut [Chisenga et al. \(2020\)](#) yaitu 0,24–0,35%. Perbedaan yang sangat besar ini mengindikasikan bahwa struktur matriks polimer yang terbentuk pada seluruh perlakuan bersifat sangat stabil dan kompak, sehingga tidak mudah mengalami disintegrasi ketika terpapar air. Stabilitas kelarutan ini mencerminkan bahwa kombinasi pati talas Belitung, selulosa kulit nanas, dan gliserol membentuk jaringan polimer dengan ikatan intermolekul yang kuat. Menurut [Jessica et al. \(2024\)](#), film dengan kelarutan sangat rendah umumnya memiliki struktur internal yang rapat dan jumlah ikatan hidrogen yang besar, sehingga penetrasi air ke dalam matriks menjadi sangat terbatas.

Selulosa kulit nanas pada formulasi berperan sebagai *filler* yang dapat memperkuat matriks polimer melalui pembentukan ikatan hidrogen tambahan dengan pati. Pada batas tertentu, penambahan selulosa diketahui dapat menurunkan kelarutan film pati karena meningkatkan kerapatan jaringan polimer, sebagaimana dilaporkan oleh ([Huwaidi & Supriyo, 2022](#)) dan [Dasumiati et al. \(2025\)](#). Namun, konsentrasi selulosa yang digunakan dalam penelitian ini (4–6 g) tergolong rendah sehingga efek penurunan kelarutan tidak menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan dan menghasilkan nilai kelarutan yang relatif seragam. Pola kelarutan yang sedikit meningkat pada gliserol tinggi sesuai dengan hasil [Tarique et al. \(2021\)](#) yang menemukan bahwa peningkatan gliserol meningkatkan solubilitas film pati. Pengaruh pati terhadap kelarutan juga sejalan dengan [Wang et al. \(2022\)](#) yang melaporkan bahwa film dengan kandungan amilosa tinggi lebih sulit larut.

Nilai kelarutan bioplastik tidak memiliki standar universal karena sangat bergantung pada tujuan penggunaannya. Untuk aplikasi sebagai kemasan produk yang berpotensi kontak dengan kelembapan, nilai kelarutan rendah lebih diinginkan karena menunjukkan ketahanan film terhadap air dan kestabilan struktur matriks. Sebaliknya, pada aplikasi tertentu seperti film larut air atau bahan sekali pakai yang dirancang cepat terdispersi, kelarutan tinggi dapat menjadi karakteristik yang menguntungkan. Oleh karena itu, rendahnya kelarutan pada penelitian ini menunjukkan bahwa film pati talas Belitung dengan penambahan selulosa kulit nanas dan gliserol memiliki stabilitas air yang baik ([Chisenga et al., 2020](#); [Tarique et al., 2021](#); [Wang et al., 2022](#); [Jessica et al., 2024](#)).

3.2.4. Ketebalan

Ketebalan memengaruhi sifat mekanik, laju perpindahan uap air, dan keseragaman film. Ketebalan film berkisar antara 0,1277–0,1592 mm dan seluruh perlakuan memenuhi standar [JIS \(1975\)](#) yaitu $\leq 0,25$ mm. Nilai ketebalan relatif seragam dan tidak menunjukkan pengaruh nyata dari selulosa maupun gliserol. Variasi ketebalan ini dipengaruhi oleh total padatan dalam larutan pembentuk film. Konsentrasi selulosa yang rendah belum cukup untuk memengaruhi viskositas

sehingga perubahan ketebalan tidak signifikan. [Santhi et al. \(2022\)](#) menyebutkan bahwa peningkatan ketebalan signifikan hanya terjadi ketika fraksi selulosa tinggi. Gliserol meningkatkan viskositas dan ketebalan film hanya pada konsentrasi besar ([Tarique et al., 2021](#)). Penelitian [Yanti et al. \(2024\)](#) juga menunjukkan bahwa jumlah gliserol yang besar meningkatkan ketebalan film selulosa. Data penelitian ini memperlihatkan kecenderungan ketebalan yang sedikit lebih tinggi pada taraf gliserol tinggi. Interaksi polimer–pemlastis–*filler* bersifat kompleks, sehingga perubahan ketebalan tidak selalu linear ([Wang et al., 2022](#)). Fenomena serupa juga dijelaskan oleh [Frangopoulos et al. \(2023\)](#) pada film berbasis pati.

3.2.5. Biodegradasi

Biodegradabilitas menunjukkan kemampuan film terurai secara alami. Hasil pengujian biodegradabilitas selama 14 hari menunjukkan bahwa seluruh sampel bioplastik mengalami penurunan massa dengan nilai degradasi berkisar antara $\pm 50\text{--}78\%$. Rentang ini menegaskan bahwa semua formulasi bersifat *biodegradable*, dan sebagian besar sampel telah memenuhi standar [BSN \(2014\)](#) yang mensyaratkan minimal 60% degradasi untuk material bioplastik mudah terurai.

Tingkat penurunan massa yang tinggi terutama dipengaruhi oleh kandungan pati sebagai komponen utama, yang dikenal mudah dihidrolisis oleh mikroorganisme lingkungan. Gliserol sebagai pemlastis juga berperan penting dalam meningkatkan degradasi. Sifat higroskopis gliserol meningkatkan penyerapan air ke dalam matriks *film*, yang selanjutnya mempercepat infiltrasi mikroorganisme dan memfasilitasi proses biodegradasi. Fenomena ini sejalan dengan laporan [Lestari et al. \(2025\)](#), yang menemukan bahwa gliserol mampu meningkatkan aktivitas mikroba pada film selulosa–kitosan sehingga mempercepat penguraian. Sebaliknya, selulosa kulit nanas dapat sedikit memperlambat laju degradasi akibat struktur kristalinnya yang lebih stabil. Selulosa memiliki ikatan $\beta\text{-(1}\rightarrow\text{4)}$ -glikosidik yang rapat dan memerlukan waktu lebih lama untuk dipecah oleh enzim mikroba. Namun demikian, pengaruh perlambatan tersebut tidak signifikan karena seluruh perlakuan tetap menunjukkan tingkat degradasi yang tinggi. Hal ini konsisten dengan temuan [Huwaidi and Supriyo \(2022\)](#), yang menyatakan bahwa selulosa dapat meningkatkan densitas matriks film namun tidak menghambat biodegradabilitas secara keseluruhan. Penelitian oleh [Devi and Priatmiko \(2024\)](#) serta [Nurhidayah et al. \(2023\)](#) juga mendukung bahwa bioplastik berbasis pati tetap memiliki kemampuan terurai yang baik meskipun ditambahkan *filler* selulosa maupun pemlastis gliserol.

3.2.6. Warna

Warna dan nilai ΔE digunakan untuk mengevaluasi tampilan visual film sebagai bahan kemasan. Pengujian warna menggunakan sistem CIE $L^*a^*b^*$ menunjukkan variasi kecil antar

perlakuan, meskipun seluruh sampel cenderung memiliki warna keabu-abuan dengan nilai L* tinggi (83–85), nilai a* mendekati hijau, dan nilai b* cenderung kebiruan (Tabel 2).

Penurunan nilai L* serta perubahan parameter a* dan b* dipengaruhi oleh adanya selulosa kulit nanas dalam formulasi. Selulosa dan bahan organik lainnya berpotensi menurunkan kecerahan dan memunculkan warna tertentu akibat reaksi kimia selama pemanasan, seperti oksidasi atau reaksi *maillard* ringan pada komponen pati dan *filler*. Mustariani *et al.* (2025) juga melaporkan bahwa penambahan serat atau selulosa dapat memengaruhi penampilan film dengan menurunkan kecerahan serta menggeser warna ke arah coklat atau kebiruan tergantung interaksi antar komponen. Gliserol sebagai pemlastis turut memengaruhi stabilitas warna dengan meningkatkan homogenitas dan pendispersi *filler* dalam matriks polimer. Meskipun demikian, gliserol juga dapat terlibat dalam reaksi kimia selama proses pemanasan yang menyebabkan perubahan warna minor. Penelitian Benitez *et al.* (2024) menunjukkan bahwa gliserol mampu meningkatkan intensitas warna dan kilap film karena kemampuannya memperbaiki dispersi bahan dan menghasilkan permukaan yang lebih rata.

Tabel 2. Pengaruh interaksi selulosa dan gliserol terhadap warna bioplastik berbasis pati talas Belitung.

Sampel	L*	a*	b*	ΔE	Kode Warna	Representasi Warna
Kontrol	85,83±0,38	1,11±0,04	2,03±0,20	33,07±0,20	#d8d6db	
S1P1	84,79±1,10	0,80±0,31	1,49±0,58	31,96±0,68	#d4d3d7	
S1P2	83,68±0,39	0,94±0,06	1,57±0,14	31,65±0,28	#d2d0d4	
S1P3	83,36±0,66	0,87±0,27	1,02±0,97	31,03±1,19	#d1cfd2	
S2P1	84,09±1,22	0,93±0,07	1,43±0,09	31,72±0,62	#d3d1d5	
S2P2	85,08±0,24	0,82±0,20	1,36±0,39	32,06±0,47	#d5d4d8	
S2P3	84,28±0,39	0,77±0,41	1,20±0,48	31,55±0,65	#d3d2d5	
S3P1	84,52±1,04	0,64±0,25	0,85±0,54	31,34±0,26	#d4d2d5	
S3P2	84,12±0,95	1,02±0,09	1,52±0,39	31,83±0,74	#d3d1d5	
S3P3	83,87±0,79	0,99±0,07	1,34±0,33	31,56±0,51	#d2d0d4	

Keterangan: Data warna didapatkan dari rata-rata L*, a*, b* pada alat *colorimeter* yang dilanjutkan dengan menentukan representasi warna menggunakan [website https://www.colorhexa.com/](https://www.colorhexa.com/)
 Kontrol= Selulosa 0 g + Gliserol 4 g; S1P1= Selulosa 4 g + Gliserol 3 g; S1P2= Selulosa 4 g + Gliserol 4 g; S1P3= Selulosa 4 g + Gliserol 5 g; S2P1= Selulosa 5 g + Gliserol 3 g; S2P2= Selulosa 5 g + Gliserol 4 g; S2P3= Selulosa 5 g + Gliserol 5 g; S3P1= Selulosa 6 g + Gliserol 3 g; S3P2= Selulosa 6 g + Gliserol 4 g; dan S3P3= Selulosa 6 g + Gliserol 5 g.

Beberapa nilai ΔE berada pada rentang variasi kecil, kemungkinan dipengaruhi perbedaan homogenitas pencampuran pati–selulosa serta distribusi gliserol dalam matriks film (Utama *et al.*, 2018). Perbedaan besar rentang nilai ΔE dapat disebabkan oleh variasi kadar selulosa yang memengaruhi tingkat opasitas dan reflektansi film sehingga meningkatkan kontras warna. Secara umum, sebagian besar nilai ΔE berada pada kisaran rendah, mencerminkan bahwa kombinasi pati talas Belitung, selulosa kulit nanas, dan gliserol tidak menyebabkan perubahan warna drastis. Hal

ini sesuai dengan karakter optik film berbasis pati yang umumnya memiliki warna dasar putih–kekuningan dan tidak mudah berubah secara signifikan akibat variasi *filler*. [Jeencham et al. \(2024\)](#) menyatakan bahwa selulosa mikrokristalin bersifat optik netral sehingga tidak mengubah warna *film*, melainkan lebih memengaruhi opasitas. Hal serupa dilaporkan oleh [Yu et al. \(2017\)](#), bahwa selulosa bertindak sebagai agen penghambur cahaya yang memengaruhi kecerahan tanpa mengubah warna dasar. [Tibolla et al. \(2020\)](#) juga menegaskan bahwa penambahan selulosa pada nanokomposit pati lebih banyak memodifikasi hamburan cahaya dibandingkan mengubah warna.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa interaksi selulosa kulit nanas (4, 5 dan 6 gram) dan gliserol (3, 4, dan 5 gram) tidak memberikan pengaruh nyata terhadap karakteristik mekanik dan fisik bioplastik berbasis pati talas Belitung. Meskipun demikian, setiap kombinasi perlakuan menunjukkan karakteristik film yang berbeda secara deskriptif. Selulosa berperan sebagai filler yang secara teoritis dapat memperkuat matriks, sedangkan gliserol berfungsi sebagai pemlastis yang meningkatkan fleksibilitas film. Nilai kuat tarik bioplastik berada pada kisaran 1,89–6,40 MPa, elongasi 19,00–38,83%, permeabilitas uap air 0,0010–0,0816 g/m²/hari, opasitas 4,63–9,95 abs/mm, kelarutan 0,0020–0,0037%, ketebalan 0,1277–0,1592 mm, dan biodegradabilitas 50,80–78,15% selama 14 hari. Secara umum, bioplastik yang dihasilkan memiliki permeabilitas uap air rendah, ketebalan sesuai acuan film kemasan, kelarutan rendah, serta kemampuan terdegradasi yang baik, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan kemasan *biodegradable* berbasis pati lokal.

Singkatan yang Digunakan

ANOVA	Analysis of Variance
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSN	Badan Standardisasi Nasional
CIELab	Commission Internationale de l'Eclairage Color System
JIS	Japanese Industrial Standard
PVA	Polyvinyl Alcohol
RH	Relative Humidity
WVP	Water Vapor Permeability

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Yos Andreas Saroinsong: akurasi data, analisis data, penulisan draft artikel. **Sukmiyati Agustin:** konseptualisasi, metodologi, validasi, penyuntingan.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa mereka tidak memiliki kepentingan finansial yang bersaing atau hubungan pribadi yang dapat mempengaruhi penelitian dalam naskah ini.

Ucapan Terima Kasih

-

Daftar Pustaka

- Agustin, N., & Abdassah, M. (2021). Isolasi Dan Karakterisasi Selulosa Mikrokrystal Dari Nanas (*Ananas Comosus* (L.) Merr). *Pharmacy: Jurnal Farmasi Indonesia (Pharmaceutical Journal Of Indonesia)*, 18(1). <https://doi.org/10.30595/pharmacy.v18i1.10277>
- American Society for Testing and Materials. (1995). E-96. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. <https://ia801508.us.archive.org/7/items/gov.law.astm.e96.1995/astm.e96.1995.pdf>
- American Society for Testing and Materials. (2002). D 882 – 02. Standard Test Method For Tensile Properties Of Thin Plastic Sheeting. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA. <https://www.wewontech.com/testing-standards/190125019.pdf>
- Aprilyanti, S. (2018). Pengaruh Konsentrasi Naoh Dan Waktu Hidrolisis Terhadap Kadar Selulosa Pada Daun Nanas. *Jurnal Teknik Kimia*, 24(1), 28-31. https://www.researchgate.net/publication/339978876_Pengaruh_konsentrasi_NaOH_dan_waktu_hidrolisis_terhadap_kadar_selulosa_pada_daun_nanas
- Aritonang, D. H., Hartiati, A., & Harsojuwono, B. A. (2020). Karakteristik Komposit Bioplastik Pada Variasi Rasio Pati Ubi Talas Belitung (*Xanthosoma Sagittifolium*) Dan Karagenan. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 8(3), 348-359. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2020.v08.i03.p04>
- Azizah, F., Nursakti, H., Ningrum, A., & Supriyadi. (2023). Development of Edible Composite Film from Fish Gelatin–Pectin Incorporated with Lemongrass Essential Oil and Its Application in Chicken Meat. *Polymers*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/polym15092075>
- Benitez, J. J., Florido-Moreno, P., Porras-Vázquez, J. M., Tedeschi, G., Athanassiou, A., Heredia-Guerrero, J. A., & Guzman-Puyol, S. (2024). Transparent, Plasticized Cellulose-Glycerol Bioplastics for Food Packaging Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 273(2). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132956>
- Boey, J. Y., Lee, C. K., & Tay, G. S. (2022). Factors Affecting Mechanical Properties of Reinforced Bioplastics: A Review. *Polymers*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/polym14183737>
- BSN [Badan Standarisasi Nasional]. (2014). Kategori Produk Tas Belanja Plastik Dan Bioplastik Mudah Terurai (SNI 7818.7:2016). Badan Standardisasi Nasional, 7. https://www.scribd.com/document/358030362/9009-SNI-7188-7-2016?utm_source=chatgpt.com
- Caixeiro, S., Peruzzo, M., Onelli, O. D., Vignolini, S., & Sapienza, R. (2020). Disordered Cellulose-Based Nanostructures for Enhanced Light-Scattering. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 32(—), 1–10. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b15986>
- 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*, 2020(1). <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>
- Dasumiati, D., Sari, N. N., & Saridewi, N. (2025). Pengembangan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Pisang Kepok Menggunakan Nanofiber Selulosa Kulit Daun Lidah Buaya sebagai Filler. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 23(4), 1066–1074. https://www.researchgate.net/publication/394165094_Pengembangan_Bioplastik_Berbahan

[_Dasar_Pati_Kulit_Pisang_Kepok_Menggunakan_Nanofiber_Selulosa_Kulit_Daun_Lidah_Buaya_sebagai_Filler](#)

- Devi, I. M., & Priatmoko, S. (2024). Synthesis And Characterization Of Banana Hump Waste-Based Bioplastic With The Addition Of Banana Pseudostem Nanocellulose And Glycerol. *Indonesian Institute Of Sciences*, 13(1), 13-22. <https://journal.unnes.ac.id/journals/ijcs/article/view/789>
- Falua, K. J., Pokharel, A., Babaei-Ghazvini, A., Ai, Y., & Acharya, B. (2022). Valorization of Starch to Biobased Materials: A Review. *Polymers* 14(11). <https://doi.org/10.3390/polym14112215>
- Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Goulas, A., Likotrafiti, E., Rhoades, J., Petridis, D., ..., & Karageorgiou, V. (2023). Optimizing the Functional Properties Of Starch-Based Biodegradable Films. *Foods*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/Foods12142812>
- Hamzah, I., Lailatin, N., & Gancang, S. (2024). The Effect of Plastisizer Gliserol and Sorbitol The Characteristics of Bioplastic Made From Mbote Potato Starch. *Eksakta: Journal Of Sciences And Data Analysis*, 5 (1) 50-56. <https://doi.org/10.20885/EKSAKTA.vol5.iss1.art6>
- Huwaidi, 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). https://www.researchgate.net/publication/362572827_Pembuatan_Plastik_Biodegradable_Pati_Jagung_Terplastisasi_Sorbitol_dengan_Pengisi_Selulosa_dari_Ampas_Tebu
- Jeencham, R., Chiaoketwit, N., Numpaisal, P. O., & Ruksakulpiwat, Y. (2024). Study of Biocomposite Films Based on Cassava Starch and Microcrystalline Cellulose Derived from Cassava Pulp for Potential Medical Packaging Applications. *Applied Sciences*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/app14104242>
- Jessica, D. D., Zulferiyenni., Nurainy, F., & Nawansih, O. (2024). Karakteristik biodegradable film berbasis selulosa bungkil inti sawit dengan variasi konsentrasi plasticizer gliserol dan filler glukomanan. *Jurnal Agroindustri Berkelanjutan*, 3(2), 209–220. <https://doi.org/10.23960/jab.v3i2.9298>
- JIS [Japanese Industrial Standard]. (1975). *General Rules of Plastic Films for Food Packaging*. JIS Z 170. Japanese Standards Association, Japan. <https://www.scribd.com/document/667783859/JIS-Z-1707-General-Rule>
- Karma, I. G. M. (2020). Determination and Measurement of Color Dissimilarity. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, 5(1), 67. <https://doi.org/10.24843/ijeet.2020.v05.i01.p13>
- Kour, M., Kumar, R., & Chaudhary, S. (2024). Innovations in Starch Based Bioplastics: A Comprehensive Review of Methods and Applications. *ChemSci Advances*, 47–66. <https://doi.org/10.69626/csa.2024.0047>
- Lestari, D., Puspita, I., & Kusmita, T. (2025). Pengaruh Penambahan Gliserol Terhadap Karakteristik Bioplastik Selulosa Batang Pisang/Kitosan. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, 5(2),130-139. <https://doi.org/10.33019/jrfi.v5i2.5194>
- Munfarida, S., Kumalaningrum, A. N., Putri, N. A., Hidayat, J. P., Yuniar, R. A., & Naibaho, L. B. (2026). Optimasi formula plasticizer gliserol dan filler carboxymethyl cellulose terhadap kekuatan mekanik pada biodegradable film packaging berbasis pati singkong. *Agrointek*, 20(1), 110-121. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v20i1.28410>
- Mustariani, B. A. A., Sulistiyana, S., Fauziah, P. R., & Roifah, M. (2025). Studi Pembuatan Bioplastik Dari Pati Tapioka Dengan Pektin Kulit Buah Naga (*Hylocereus Polyrhizus*) Dan Karagenan. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 21(1), 121. <https://doi.org/10.20961/Alchemy.21.1.94003.121-129>
- Nasir, N. N., & Othman, S. A. (2021). The Physical and Mechanical Properties of Corn-based Bioplastic Films with Different Starch and Glycerol Content. *Journal of Physical Science*, 32(3), 89–101.

https://www.researchgate.net/publication/356605332_The_Physical_and_Mechanical_Properties_of_Corn-based_Bioplastic_Films_with_Different_Starch_and_Glycerol_Content

- Nawaz, H., Waheed, R., Nawaz, M., & Shahwar, D. (2020). Physical And Chemical Modifications In Starch Structure And Reactivity. *Chemical Properties of Starch*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.88870>
- Nurhidayah, P., Fajarwati, Y. E., & Fitri, A. C. K. (2023). Analisa Uji Biodegradasi Bioplastik Dari Pati Kulit Singkong Dengan Variasi Volume Gliserol, Selulosa Jerami Padi Dan Kitosan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan Dan Infrastruktur*, 6. <https://pro.unitri.ac.id/index.php/sentikuin/article/view/494>
- Pasquier, E., Mattos, B. D., Koivula, H., Khakalo, Belgacem, M. N., Rojas, O. J., & Bras. J. (2022). Multilayers of Renewable Nanostructured Materials with High Oxygen and Water Vapor Barriers for Food Packaging. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 14(26), 30236–30245. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c07579>
- Pooja, N., Chakraborty, I., Rahman, M. H., & Mazumder, N. (2023). An Insight On Sources And Biodegradation Of Bioplastics: A Review. *Biotech*, 13(7), 220. <https://doi.org/10.1007/S13205-023-03638-4>
- Putra, E. P. D., Larassati, D. P., Wijayani, R. A., Thamrin, E. S., Sylvia, T., Subara, D., & Laksono, U. T. (2025). Karakteristik Bioplastik Pati Bonggol Pisang Dengan Variasi Konsentrasi Gliserol Bioplastic Properties Of Banana Weevil Starch With Variation Glycerol Concentrations. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 13(2), 293-308. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2025.v13.i02.p13>
- Putro, P. A., Sumardi, T., Sulaeman, A. S., Roza, L., Ramza, H., & Anugrah, D. S. B. (2023). Synthesizing Cellulose and Its Derivatives from Pineapple Peel: A Systematic Literature Review. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 13(6). <https://doi.org/10.33263/BRIAC136.575> <https://biointerfaceresearch.com/wp-content/uploads/2023/03/BRIAC136.575.pdf>
- Rabek, C. L., Stelle, R. V., Dziubla, T. D., & Puleo, D. A. (2014). The Effect Of Plasticizers On The Erosion And Mechanical Properties Of Polymeric Films. *Journal of Biomaterials Applications*, 28(5), 779–789. <https://doi.org/10.1177/0885328213480979>
- Santhi, M., Arnata, I. W., & Wrasati, L. P. (2022). Isolasi Selulosa Dari Serat Sabut Kelapa (*Cocos Nucifera L.*) Pada Variasi Suhu Dan Waktu Proses Bleaching Dengan Asam Perasetat. *Journal Of Agroindustrial Engineering And Management*, 10(3), 248-258. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2022.v10.i03.p02>
- Santhosh, R., Ahmed, J., Thakur, R., & Sarkar, P. (2024). Starch-Based Edible Packaging: Rheological, Thermal, Mechanical, Microstructural, And Barrier Properties - A Review. *Sustainable Food Technology*, 2(2). <https://doi.org/10.1039/D3fb00211j>
- Sumiati, T., Yuningtyas, S., & Haloho, L. E. B. (2023). Delignifikasi Lignoselulosa Daun Nanas Sebagai Sumber Alfa Selulosa. *Jurnal Farmamedika*, 8(2), 130-137. <https://doi.org/10.47219/ath.v8i2.301>
- Sunardi., 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), 69-76. <https://journal.ummat.ac.id/index.php/justek/article/view/3704/pdf>
- Tarique, J., Sapuan, S. M., & Khalina, A. (2021). Effect Of Glycerol Plasticizer Loading On The Physical, Mechanical, Thermal, And Barrier Properties Of Arrowroot (*Maranta Arundinacea*) Starch Biopolymers. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-021-93094-Y>
- Tibolla, H., Czaikoski, A., Pelissari, F. M., Menegalli, F. C., & Cunha, R. L. (2020). Starch-Based Nanocomposites With Cellulose Nanofibers Obtained From Chemical And Mechanical Treatments. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 161, 132–146. <https://doi.org/10.1016/J.Ijbiomac.2020.05.194>

- Utama, R. S., Suyatma, N. E., & Yulliana, N. D. (2018). Studi Kinetika Degradasi Warna Biodegradable Film - Antosianin Untuk Indikator Proses Termal. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 6(2), 137–144. <https://doi.org/10.19028/jtep.06.2.137-144>
- Wang, B., Xu, X., Fang, Y., Yan, S., Cui, B., & El-Aty, A. M. A. (2022). Effect of Different Ratios of Glycerol and Erythritol on Properties of Corn Starch-Based Films. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.882682>
- 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>
- Windyasmara, L. (2022). Substitusi Tepung Talas Belitung (*Xanthosoma Sagittifolium*) Terhadap Kualitas Fisik Dan Mutu Sensoris Nugget Ayam Broiler. *Agrisaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 6(1), 38-46. <https://doi.org/10.32585/ags.v6i1.2514>
- Yanti, N. A., Ahmad, S. W., Ramadhan, L. O. A. N., Ardiansyah, A., & Indrawati, I. (2024). Characteristics of Biocellulose-Based Edible Film from Sago Wastewater (*Metroxylon sago* ROTTB.) on Various Glycerol Concentration. *Agritech*, 44(1), 9. <https://doi.org/10.22146/agritech.75154>
- Yu, Z., Alsammaraie, F. K., Nayigiziki, F. X., Wang, W., Vardhanabhuti, B., Mustapha, A., & Lin, M. (2017). Effect And Mechanism Of Cellulose Nanofibrils On The Active Functions Of Biopolymer-Based Nanocomposite Films. *Food Research International*, 99, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.009>